

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

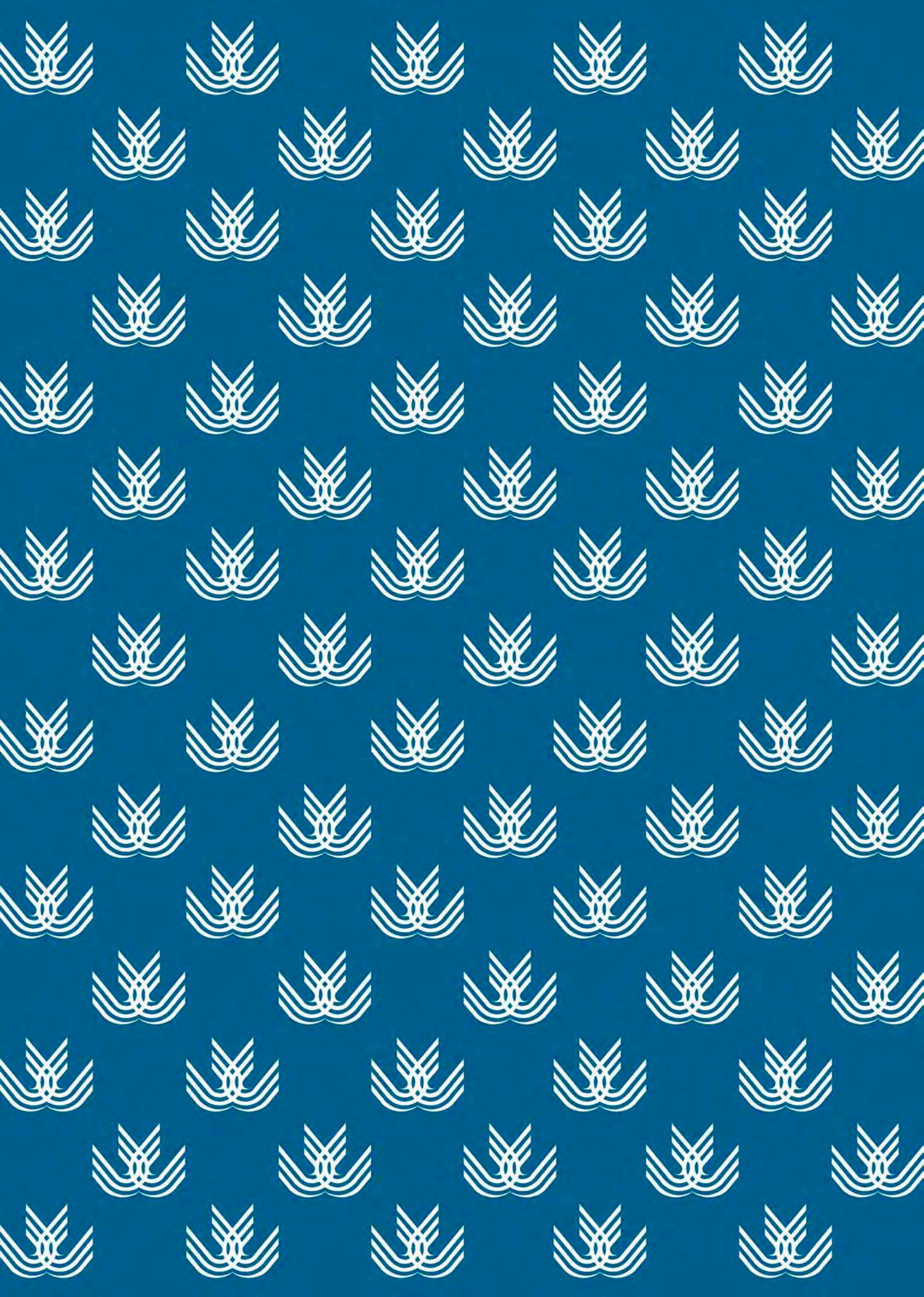
Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Dimensionamiento de un sistema de depuración de aire para eliminar la materia particulada producida en un aserradero

Autora: M^a Dolores FIERRO GONZÁLEZ

Fecha: Junio 2004





INDICE GENERAL

	Página
DOCUMENTO N°1: MEMORIA	
♦ MEMORIA DESCRIPTIVA	
1. Objeto	5
2. Antecedentes	6
3. Justificación y Viabilidad	19
4. Alcance y ubicación.....	22
5. Proceso de Depuración del Aire.....	24
6. Tratamiento de Residuos.....	118
7. Instalaciones y Equipos	125
8. Distribución en Planta	133
9. Mantenimiento	136
10. Estudio de Seguridad del Aserradero.....	142
11. Bibliografía	176
♦ ANEXOS DE MEMORIA	
1. Cálculo de Tuberías.....	180
2. Cálculo de la Campana Extractora.....	203
3. Ventilador.....	206
4. Sistema de Captación de Partículas.....	216
5. Depósito de almacenamiento.....	245
DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE CONDICIONES	
1. Objeto	268
2. Pliego de Condiciones Generales de la Obra	269
3. Pliego de Condiciones Particulares de la Obra	320
4. Especificaciones Técnicas de los equipos	340

DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO

1. Costes de equipos	346
2. Estimación del capital	351

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

- ◆ Plano n° 1: **Distribución en planta**
- ◆ Plano n° 2: **Diagrama de flujo**
- ◆ Plano n° 3: **Campana**
- ◆ Plano n° 4: **Ciclón**
- ◆ Plano n° 5: **Tanque de Almacenamiento**

INDICE DE MEMORIA DESCRIPTIVA

	Página
1. OBJETO.....	5
2. ANTECEDENTES	
2.1 La industria maderera.....	6
2.1.2 La industria del aserrado en España.....	7
2.2 Proceso de aserrado.....	9
2.2.1 Apilado.....	10
2.2.2 Descortezado.....	10
2.2.3 Aserrado.....	11
2.2.4 Canteado.....	11
2.2.5 Retesteado.....	11
2.2.6 Secado	12
2.2.7 Tratamiento frente al azulado	13
2.2.8 Almacenado.....	14
2.2.9 Diagrama: procesado de la madera.....	15
2.3 Emisiones de polvo.....	16
2.4 Efectos por la exposición al polvo de madera.....	17
3. JUSTIFICACION Y VIABILIDAD	
3.1 Aspectos medioambientales.....	19
3.2 Objetivos de un sistema de control de polvo.....	20
3.2 Viabilidad.....	21
4. ALCANCE Y UBICACIÓN	
4.1 Alcance.....	22
4.2 Ubicación.....	23
5. PROCESO DE DEPURACIÓN DEL AIRE	
5.1 Introducción.....	24
5.2 Clasificación de las emisiones.....	26

5.3 Ventilación.....	27
5.3.1 Ventilación genera.....	27
5.3.1.1 Ventilación natural.....	28
5.3.1.2 Ventilación mecánica.....	28
5.3.2 Ventilación Localizada.....	29
5.4 Campana.....	32
5.4.1 Tipos de Campana.....	32
5.4.2 Selección y Diseño.....	33
5.5 Conductos.....	35
5.5.1 Componentes del Sistema de Conductos.....	37
5.5.2 Parámetros de diseño del sistema de conductos.....	42
5.6 Alternativas del Equipo de Captación de partículas.....	43
5.6.1 Factores para seleccionar el equipo de captación de partículas.....	46
5.6.2 Equipo de captación mecánica.....	46
5.6.2.1 Cámaras de sedimentación.....	46
5.6.2.2 Ciclones.....	50
5.6.2.3 Separadores de impacto.....	56
5.6.3 Filtros Tela.....	58
5.6.3.1 Tipos de filtros tela.....	62
5.6.3.2 Características de la tela.....	68
5.6.3.3 Eficacia de recolección.....	69
5.6.4 Precipitadores Electrostáticos.....	70
5.6.4.1 Tipos de precipitadores electrostáticos.....	77
5.6.4.2 Eficacia de recolección.....	79
5.6.5 Lavadores y absorbedores húmedos.....	81
5.6.5.1 Tipos de lavadores.....	83
5.6.5.2 Eficacia de recolección.....	92
5.7 Ventiladores.....	93
5.7.1 Conceptos. Presión.....	94
5.7.2 Diferencia de presión total desarrollada por un ventilador.....	97
5.7.3 Leyes fundamentales de los ventiladores.....	97
5.7.4 Rendimiento y potencia de un ventilador.....	101

5.7.5	Curvas características.....	103
5.7.6	Selección de un ventilador.....	106
5.7.7	Clasificación de ventiladores.....	107
5.7.8	Ventiladores Axiales y Centrífugos.....	113
6.	TRATAMIENTO DE RESIDUOS	
6.1	Introducción.....	118
6.2	Aprovechamiento de los residuos para la producción de energía.....	119
6.3	Fabricación de tableros aglomerados con los residuos.....	122
6.4	Otros usos del serrín.....	124
7.	INSTALACIÓN Y EQUIPOS	
7.1	Campana.....	125
7.2	Tuberías y accesorios.....	126
7.3	Ventilador.....	127
7.4	Ciclón.....	128
7.5	Tanque de almacenamiento.....	129
8.	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	
8.1	Introducción.....	133
8.2	Distancias entre equipos.....	133
9.	MANTENIMIENTO	
9.1	Introducción.....	136
9.2	Mantenimiento General.....	137
9.3	Mantenimiento Específico.....	137
9.4	Costes relacionados con el mantenimiento.....	140
10.	ESTUDIO DE SEGURIDAD DEL ASERRADERO	
10.1	Introducción.....	142
10.2	Locales y equipos de trabajo.....	143
10.3	Electricidad.....	145

10.4 Agentes físicos.....146

10.5 Agentes químicos.....148

10.6 Diseño de puestos de trabajo.....148

10.7 Organización del trabajo.....150

10.8 Prevención y Protección contra incendios.....152

10.9 Resguardo de máquinas.....161

10.10 Sistemas de tuberías.....164

10.11 Equipos de protección.....164

 10.11.1 Equipos de protección colectivos.....164

 10.11.2 Equipos de protección individual.....165

10.12 Señalización de Seguridad.....172

 10.12.1 Señalización óptica.....172

 10.12.2 Señalización acústica.....175

 10.12.3 Señalización olfativa.....175

 10.12.4 Señalización táctil.....175

11. BIBLIOGRAFÍA

1. OBJETO

El presente proyecto titulado **“Dimensionamiento de un sistema de depuración de aire para eliminar la materia particulada producida en un aserradero”**, ha sido encargado por la Facultad de Ciencias, a propuesta del Prof.Dr. Manuel Manzano Quiñones del Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente, como proyecto fin de carrera (PFC) para la obtención del título de Ingeniero Químico y ha sido realizado por Dolores Fierro Gonzalez.

El objetivo del PFC es dimensionar un sistema de depuración del aire en un aserradero con el objeto de reducir la emisión de materia particulada y poder mantener una calidad aceptable del aire en el interior del aserradero conforme a estándares nacionales e internacionales.

Se abordará las condiciones de operación y control del proceso, mantenimiento, aspectos de seguridad e higiene así como el diseño mecánico de los elementos que integran el proceso de depuración del aire.

2. ANTECEDENTES

2.1 LA INDUSTRIA MADERERA

La madera es el material y suministrador de energía más antiguo de que dispone la humanidad. Por su cualidad de recurso renovable reviste una importancia especial. A pesar de la disponibilidad de materiales metálicos, químico-sintéticos y minerales, la madera ha seguido conservando su relevancia como importante materia prima. Debido a sus características tecnológicas, las maderas han encontrado una aplicación valiosa como materiales de trabajo y decoración, especialmente en los 30 últimos años. En la explotación de la madera, son importantes los siguientes sectores:

- Producción, tala y transporte
- Procesamiento mecánico de la madera (aserrado, cepillado, fresado, lijado)
- Fabricación de materiales derivados de la madera en forma de tableros (paneles de madera contrachapada, de conglomerado, de fibras)
- Transformación en otros productos bajo una profunda modificación química de la madera
- Combustión

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales. En la mayoría de los países se cortan árboles para diversos fines, entre ellos, la transformación de la madera para la producción de tableros de madera maciza, manufacturados en aserraderos y lugares afines y en la fabricación de papel y productos relacionados. Casi todos los árboles destinados la fabricación de productos y estructuras de madera se transforman primero

en los aserraderos. Por consiguiente, en todas las regiones del mundo donde se utiliza madera con fines industriales existen aserraderos.

Los aserraderos son establecimientos donde con maquinaria adecuada se sierra la madera, transformando los troncos recibidos de los bosques en trozos de diferentes longitudes y espesores que servirán posteriormente como materia prima para la fabricación de artículos de madera como durmientes, vigas, postes, etc.

La industria del aserrado a existido en formas sencillas desde hace siglos, aunque ha sido en las últimas décadas cuando se han producido importantes avances tecnológicos con la introducción de la electricidad, la mejora en el diseño de las sierras y más recientemente, la automatización de la clasificación y otras operaciones.

Aunque, actualmente, la producción de madera aumenta, el número de trabajadores en los aserraderos disminuye a consecuencia de la mecanización y la automatización. Como dato de referencia, en Estados Unidos el número de trabajadores en aserraderos y talleres de mecanizado era un 17% mayor en 1977 que en 1987 y según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) se han observado reducciones similares en otros países, donde se están eliminando las operaciones más pequeñas y menos eficientes en favor del trabajo en talleres de mucha mayor capacidad y provistos de modernos equipos. La mayoría de puestos de trabajo eliminados correspondían a tareas de baja cualificación como las de clasificación o avance de la madera. Respecto a las repercusiones sobre el empleo también hay que observar que en la industria de la madera trabajan casi exclusivamente hombres.

2.1.1 LA INDUSTRIA DEL ASERRADO EN ESPAÑA

Existen en España unas 1.847 empresas dedicadas al sector del aserrío (según estadística de 1999). Esto supone un 5,03% del total de empresas dedicadas a la madera.

AÑO	Nº DE EMPRESAS DE ASERRADO	% DEL SECTOR DE LA MADERA
1997	2389	6,24
1999	1847	5,03

(Fuente: *El "Gremi de Serradors, Empresaris Forestals i Tractament de la Fusta de Barcelona"*)

Aunque el número de empresas se ha reducido, la producción ha aumentado gracias a la reestructuración que se está llevando a cabo en el sector. Un 48,19% de ellas tiene menos de tres trabajadores, el 83% tiene menos de diez y el 94%, menos de veinte. El reducido tamaño de estas empresas, dificulta su puesta al día en nuevas tecnologías, acceso a nuevos mercados, etc.

Con respecto a su distribución por Comunidades Autónomas, se observa que la mayor parta de la actividad se desarrolla en Galicia, seguida de Castilla y León y Cataluña. A cierta distancia se encuentran el País Vasco, Andalucía, Asturias y Valencia.

Distribución de empresas de aserrado		
	Nº DE EMPRESAS	% TOTAL
<u>Total Nacional</u>	1.847	100
Andalucía	101	5,47
Aragón	48	2,60
Asturias	83	4,50
Baleares	24	1,30
Canarias	18	0,97
Cantabria	20	1,08
Castilla y León	309	16,73
Castilla La Mancha	91	4,93
Cataluña	196	10,61
Comunidad Valenciana	130	7,04
Extremadura	30	1,62
Galicia	513	27,77
Madrid	37	2,00
Murcia	38	2,06
Navarra	54	2,92
País Vasco	144	7,80
La Rioja	11	0,60
Ceuta y Melilla	- - -	-

La producción de madera aserrada en España ha crecido en los últimos años tras la crisis económica de 1993, entre 1985 y 1997 este crecimiento se cifró en un 39%. En 1997 el nivel de producción de madera aserrada en España fue de 3,12 millones de m³. Dentro del total de producción del Sector Forestal, la madera aserrada supuso en 1997 un porcentaje importante, el 24,1% como puede verse en la tabla.

Distribución de la producción del Sector Forestal (1997)

<i>LEÑA DE CONÍFERAS</i>	<i>0,20%</i>
<i>LEÑA DE FRONDOSAS</i>	<i>1,00%</i>
<i>OTROS PRODUCTOS</i>	<i>1,70%</i>
<i>REPOBLACIONES</i>	<i>2,30%</i>
<i>FRONDOSAS</i>	<i>6,60%</i>
<i>CONÍFERAS</i>	<i>10,70%</i>
<i>PASTA</i>	<i>11,80%</i>
<i>ASERRADO</i>	<i>24,10%</i>
<i>CHAPA / TABLERO</i>	<i>41,04%</i>

2.2 PROCESO DE ASERRADO

Los aserraderos son fábricas en las que los rollizos de madera se transforman en mercancía cortada (mecanizado primario).

El mecanizado de la madera propiamente dicho comienza en el aserradero con el descortezado, en caso de que éste no haya sido realizado ya en el bosque, el tronzado y el corte a medida de la madera extraída del bosque. La madera aserrada se utiliza directamente como material de construcción o se ennoblece mediante el cepillado, fresado, lijado, pintado o impregnado.

El procesamiento mecánico de la madera conlleva la producción de ruido y polvo. Asimismo, va seguido con frecuencia de un tratamiento superficial con lacas, decapantes, etc., en el que se desprenden sustancias gaseosas, de fuerte olor.

Los aserraderos pueden ser de muy diversos tamaños. Los más pequeños son unidades fijas o portátiles constituidas por una sierra principal circular, un sencillo carro

porta troncos y una canteadora doble accionadas por un motor gasolina o diesel y manejadas por uno o dos trabajadores. Las más grandes son estructuras permanentes, disponen de equipos mucho mas elaborados y especializados y pueden emplear a más de 1000 trabajadores. En función del tamaño de la fábrica y del clima de la región, las operaciones pueden realizarse en el interior o al aire libre. Aunque el tipo y el tamaño de los troncos determinan en gran medida el tipo de equipos necesarios, éstos varían también considerablemente en función de la antigüedad y de las dimensiones de la instalación, así como del tipo y calidad de los tableros fabricados. A continuación se describen algunos de los procesos que tienen lugar en un aserradero.

2.2.1 Apilado

Las trozas una vez llegadas al aserradero son apiladas en el patio, en espera de ser elaboradas. En esta fase se puede realizar una primera clasificación de los troncos en dimensiones y en calidades. Algunas empresas ya han empezado a instalar maquinaria de apilado semiautomático. El tiempo que permanezcan las trozas o troncos en el patio de apilado no interesa que sea demasiado largo ya que sino la madera puede empezar a sufrir los primeros ataques de hongos.

2.2.2 Descortezado

Las trozas son introducidas en la descortezadora para arrancar la corteza, este residuo puede ser quemado posteriormente en una caldera para producir energía (en los aserraderos provistos de un sistema de cogeneración) o utilizado en jardinería.

La descortezadora consta de un rotor porta cuchillos que al girar cortan la corteza y la arranca.

Esta fase suele realizarse en el patio exterior del aserradero. Luego los troncos y tableros obtenidos tras el descortezado se trasladan por medio de un sistema de transportadores, cintas y rodillos.

2.2.3 Aserrado

El 50% de las instalaciones son tradicionales a base de carro automático y sierra cinta; el 20% incorpora una sierra alternativa en cabeza, el 20% carros de alta producción y el 10% chip-canters. Prácticamente todas las tecnologías de aserradero pueden clasificarse en dos grupos:

- Aserrados de madera corta (2 – 3m) y delgada (18 – 20cm), dedicados al aserrado de madera para embalaje y encofrado, hacen uso de métodos de aserrado de una sola pasada.
- Aserrados de madera larga (4,20 – 4,50m) y gruesa (mayor a 28cm), dedicados a la industria del mueble y de la carpintería. Los métodos empleados para el aserrado difieren de los anteriores en la exigencia de un mayor volteo del tronco en busca de una mayor calidad y tamaño de las piezas.

Debido a la cantidad de potencia necesaria en estas instalaciones y a que se trata de un proceso ininterrumpido, el consumo de energía eléctrica durante esta fase resulta ser muy elevado.

Una vez realizado el despiece del tronco en tablas y tablones, se monta otro tronco en el carro sin interrumpir la cadena de producción. Las tablas producto del despiece realizado pasan a continuación a la canteadora.

2.2.4 Canteado

En esta fase se cortan los cantos de las tablas obtenidas en la fase anterior de manera que queden en ángulo recto.

2.2.5 Retestado

Las tablas una vez canteadas han de ser cortadas a longitudes comerciales. Este proceso se realiza en la retesteadora que esta colocada al final de la línea de flujo del aserradero.

Tanto en el aserrado, como en el canteado y en el retestado se generan dos tipos de residuos, como son el serrín y la astilla; son empleados en la fabricación de pastas, tableros y como combustible en las calderas para el secado en cámara.

Con la operación de retestado termina el mecanizado de la madera, pero aún quedan dos procesos a realizar a la madera, el secado y el tratamiento químico.

Aunque el objeto del presente proyecto es, reducir la emisión de la materia particulada obtenida como consecuencia del mecanizado de la madera, se va a realizar una descripción sobre el secado y el tratamiento químico.

2.2.6 Secado

A la salida del proceso de mecanizado, la madera presenta una humedad superior al 80%. En estas condiciones, la madera no puede utilizarse debido a su carácter higroscópico y a su vulnerabilidad frente al ataque de algunos hongos, principalmente los que producen el azulado, siendo necesaria una reducción de su contenido en humedad por debajo del 20% para su puesta en servicio. Los métodos de secado utilizados actualmente son dos: secado artificial en cámaras y secado al aire libre.

➤ *El Secado en Cámara* o secado artificial consiste en situar la madera convenientemente apilada y enrastrelada en una cámara de secado dentro de la cual existe un ambiente cuya temperatura y humedad relativa pueden ser reguladas constantemente. Existen cuatro métodos de secado artificial:

- secado en cámara con aire caliente climatizado
- secado en cámara con bomba de calor en circuito cerrado
- secado en cámara con bomba de calor en circuito abierto
- secado a alta temperatura

Debido al coste de las instalaciones y al espacio limitado del secadero, es menor el número de aserraderos que disponen de cámaras de secado artificial, por lo que es el secado al aire libre el método más empleado.

➤ *El Secado al aire libre* permite bajar el contenido de humedad de la madera hasta el 14-18% en 1 a 3 meses. En este tipo secado es necesario el uso de productos químicos preventivos contra el azulado. Además se han de tener en cuenta las condiciones meteorológicas, así como la separación de rastreles, espesor de la madera, etc. Para que la madera se seque correctamente es fundamental que exista una buena circulación de aire debiéndose prestar máxima atención a la construcción de las pilas. Las pilas deben estar constituidas por capas de tablas entre las cuales se disponen rastreles (listones) que permitan la circulación horizontal del aire entre las tablas. En una misma capa las tablas deben estar separadas de 1 a 6 cm para facilitar la circulación vertical del aire. El grueso de los rastreles pueden acelerar o frenar el secado.

Es muy conveniente cubrir las pilas con tejadillos para protegerlas de la lluvia y del sol, teniendo esta práctica influencia sobre los tiempos y calidad del secado. Asimismo se recomienda la colocación de las pilas sobre una zona hormigonada y con posibilidad de recogida de las aguas mediante canales.

En caso de no iniciar inmediatamente después de terminar el aserrado el secado, la madera deberá ser tratada si se quiere evitar la aparición del azulado.

El porcentaje de madera secada al aire libre frente a la secada en cámara, depende en gran medida de las características de las instalaciones del aserradero, en general la proporción estimada es de 70% secada al aire y 30% en cámara.

2.2.7 Tratamiento frente al azulado

Estos tratamientos realizados en los aserraderos tienen la finalidad de evitar la aparición del azulado durante los 2 o 3 meses que puede durar el secado natural o durante los 15 días que puede retrasarse el secado artificial en cámaras. Por ello, los tratamientos son temporales y no definitivos.

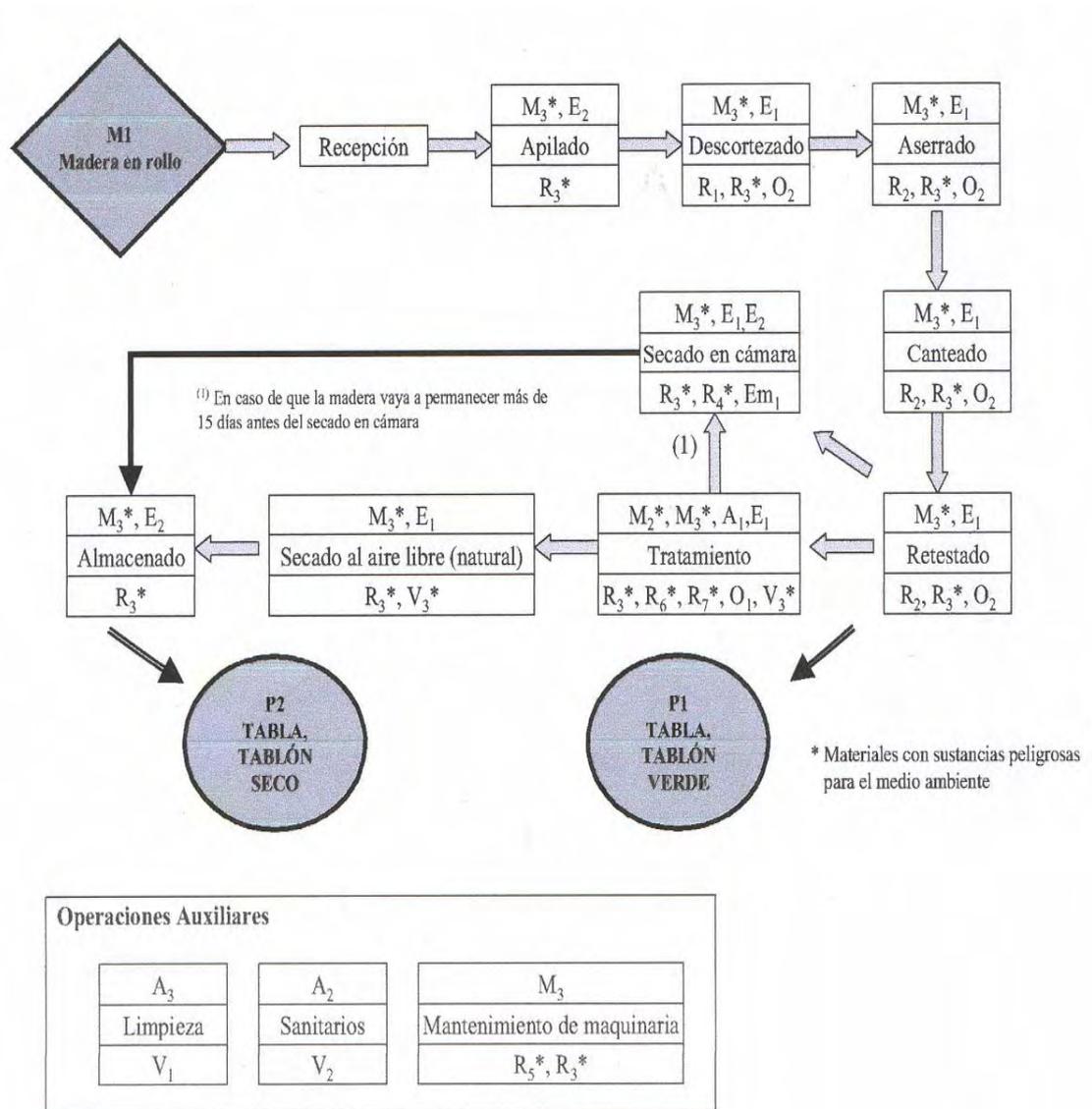
Consisten en la inmersión de tablas y tablones en una bañera o balsa que contiene el líquido protector. Para realizar el tratamiento las tablas se estiban formando una pila, la cual se coloca en un soporte en forma de reja suspendido sobre el líquido protector que llena la balsa. Después la pila de tablas se sumerge en la balsa de tratamiento convenientemente lastrada durante un tiempo, determinado por la clase de producto antiazulado empleado, que puede oscilar entre 10 segundos y 10 minutos. Después la pila de tablas se extrae de la balsa y se deja escurrir el líquido sobrante sobre la misma. Posteriormente, se traslada la pila de tablas al parque de secado.

2.2.8 Almacenado

Una vez que la madera a alcanzado el grado de humedad óptimo, bien por secado artificial o natural, esta lista para su comercialización. El tiempo de permanencia en el aserradero hasta su venta puede ser considerable, por lo que es conveniente almacenarla en locales cubiertos y cerrados donde se realiza un control de las condiciones higrotérmicas.

De todos los procesos comentados, son el secado y el tratamiento los que más influyen en la calidad final de la madera y debido a esto, han cobrado gran importancia hasta el punto de iniciarse en muchos aserraderos donde hasta ahora no se practicaban.

2.2.9 Diagrama, procesamiento de la madera



Aclaraciones al diagrama de bloque. Procesado de la madera

Entradas	Salidas
M ₁ : Madera en rollo	P ₁ : Tabla o tablón verde
M ₂ *: Producto protector antiazulado	P ₂ : Tabla o tablón seco
M ₃ *: Aceites de engrase de maquinaria	R ₁ : Corteza
A ₁ : Agua nueva para la cuba de tratamiento	R ₂ : Serrín y astilla
A ₂ : Agua nueva para sanitarios	R ₃ *: Aceites de maquinaria usados
A ₃ : Agua nueva para limpieza	R ₄ *: Filtros chimenea
E ₁ : Electricidad para el funcionamiento de equipos	R ₅ *: Filtros maquinaria
E ₂ : Gasoil, gas natural, fuel-oil	R ₆ *: Lodos cuba de tratamiento
	R ₇ *: Envases vacíos que han contenido productos peligrosos
	O ₁ : Olores
	O ₂ : Ruido
	Em ₁ : Gases de combustión de caldera (CO, SO ₂ , NO _x y humos)
	V ₁ : Vertido de limpieza
	V ₂ : Vertido sanitario
	V ₃ *: Vertido de escurrido

* Materiales con sustancias peligrosas para el medio ambiente

M: materias primas; A: agua; P: producto obtenido; R: residuos generados; V: vertidos; Em: emisiones; E: energía; O: ruido y olores.

2.3 EMISIONES DE POLVO

En el mecanizado de la madera se producen emisiones de polvo. La cantidad y calidad del polvo de talleres de carpinterías, fábricas de muebles y empresas afines son diferentes de las que se producen en los aserraderos. Ante todo, es importante la finura del polvo, expresada mediante el tamaño del granulado y su distribución.

Los polvos finos son, obviamente, más difíciles de eliminar que los gruesos y representan una carga mayor para la salud de las personas, en especial en el caso de las partículas que pueden penetrar en los pulmones. La producción de polvo fino es superior en los procesos de lijado que en los de mecanizado con arranque de virutas. Mediante la inhalación de polvo de madera, en especial el polvo de madera dura, se puede absorber sustancias perjudiciales para la salud y ocasionar graves enfermedades. Deberán averiguarse previamente los riesgos específicos derivados para la salud y adoptarse las correspondientes medidas de seguridad.

Para reducir las emisiones de polvo en los puestos de trabajo, deberá dotarse a las máquinas de dispositivos de aspiración. Esta medida se basa tanto en la prevención de la salud para los empleados como en la protección frente a incendios y explosiones. Deberán blindarse las máquinas y dimensionarse los dispositivos de aspiración y de transporte de modo que se consiga una succión del polvo suficiente. Si el equipo de aspiración en el área de trabajo genera una fuerte presión negativa, deberá garantizarse una compensación de la presión sin que por ello se originen corrientes en el puesto de trabajo.

La conducción del polvo aspirado debe realizarse a través de tubos incombustibles, resistentes a las roturas y al desgaste. La construcción de los tubos de aspiración y la medición de las velocidades de succión deben realizarse de tal modo que no se produzcan sedimentaciones en puntos no deseados del sistema.

Antes de evacuar el aire aspirado al exterior, hay que separar el polvo. Esto se realiza mediante separadores centrífugos o filtros textiles. Con el fin de prevenir incendios y explosiones, los dispositivos de aspiración deben estar provistos de sistemas de una protección preventiva, como válvulas de descarga de la presión, discos de reventamiento, dispositivos de detección de chispas, detectores de incendios sin llamas y equipos de extinción.

2.4 EFECTOS POR LA EXPOSICIÓN A POLVO DE MADERA

Como ya ha sido mencionado anteriormente, en la industria de la madera, todas las operaciones que se realizan, desde la tala de los árboles hasta el acabado de los productos finales, generan polvo de madera, especialmente con las operaciones del aserrado.

Se denomina polvo a todas aquellas partículas de un diámetro igual o inferior a 100 μm (0,1 mm), llamándolas técnicamente polvo inhalable, ya que son las partículas capaces de entrar por la nariz al sistema respiratorio. Las más gruesas, entre 50 y 100 μm , no conseguirán entrar en las vías respiratorias, quedando bloqueadas en las fosas nasales y la garganta, y siendo eliminadas posteriormente por el organismo mediante mecanismos de deglución y expectoración. El resto de las partículas más finas (inferiores a 50 μm) son capaces de entrar hasta los pulmones e incluso las más pequeñas pueden llegar hasta los alvéolos pulmonares.

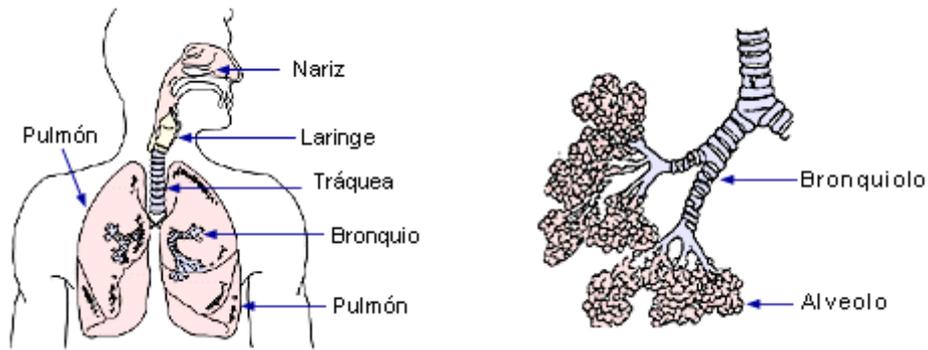
Un tipo determinado de madera puede tener hasta 30 agentes químicos nocivos diferentes entre los que se encuentran alcaloides, glucósidos, colorantes naturales, taninos, terpenos, resinas, fenoles, quinonas. La toxicidad es específica de cada especie de árbol e incluso varía dentro de la misma especie.

Estos agentes nocivos pueden afectar al organismo por contacto con la piel o por inhalación.

El contacto cutáneo puede ocasionar desde irritación hasta alergias de contacto, eccemas de contacto, debido al efecto irritante que desencadena un mecanismo de hipersensibilidad retardada, ya que son contactos posteriores a la primera exposición los que producen una reacción inmunológica conduciendo al eccema.

La inhalación del polvo de madera produce en primer término una irritación de las vías respiratorias. Se manifiesta en estornudos, rinitis agudas, sangrado de nariz e incluso asma.

A continuación se muestra una figura del aparato respiratorio.



Se pueden distinguir distintos mecanismos de actuación atendiendo al tamaño de las partículas:

➤ Las partículas más finas pueden alcanzar los alvéolos pulmonares, lugar donde se produce el intercambio de gases, e interacciona con el organismo por mecanismos inmunológicos pudiendo producir hipersensibilidad inmediata, responsable de asma y rinitis, o reacciones de hipersensibilidad semi-retardadas causando alveolítis alérgica extrínseca. Cuando estas reacciones evolucionan de forma crónica pueden degenerar en fibrosis muscular.

➤ Las partículas de madera más grandes debido a su tamaño son retenidas en las vías respiratorias altas, en particular en los senos faciales. Las mucosas que recubren la parte superior de las fosas nasales tienen la función de filtrar el aire inspirado, calentarlo y humidificarlo antes de pasar a la tráquea y los bronquios. Con exposición reiterada a atmósfera con mucho polvo, la mucosa se irrita, inflama e infecta fácilmente. Este proceso acaba modificando la estructura de la mucosa originando lo que se denomina una lesión precancerosa y puede evolucionar a un cáncer. Se trata de una evolución lenta de unos 20 o 30 años, siendo una enfermedad grave de tratamiento difícil.

El riesgo de evolución maligna aumenta con: la concentración de polvo de madera en la atmósfera de trabajo, con la sequedad y la dureza de la madera y con las maderas ricas en taninos. No obstante, todos estos riesgos se minimizan si la empresa y el trabajador toman las medidas preventivas adecuadas, entre ellas una medida de protección colectiva como es un sistema de extracción localizada.

3. JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD

3.1 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Las emisiones de materia particulada han sido históricamente el factor más importante desde el punto de vista medioambiental, en todo lo concerniente a la manipulación de la madera.

Los aserraderos, que siguen a la tala de los árboles, crean problemas de higiene industrial tales como ruidos, polvo y seguridad en el manejo de herramientas, lo cual puede hacerse también extensible a otras actividades análogas realizadas dentro de este mismo sector. Por ello se hace necesario un eficaz sistema de extracción de polvo, que permita trabajar en unas adecuadas condiciones tanto de calidad como de seguridad.

Los sistemas de extracción de polvo sirven a los propósitos principales. Primeramente, para mantener una atmósfera limpia en el ámbito de trabajo y en segundo lugar para aspirar el polvo y las virutas de un área y depositarlas dentro de un receptáculo elegido, que puede ser usado luego para diversos fines.

Dentro de la industria de la madera, aún en las empresas más pequeñas, se produce tal cantidad de serrín que si este no se aspirara por extractores localizados en el lugar de trabajo, surgirían problemas respiratorios en los obreros. Las máquinas modernas trabajan más rápido produciendo mayor cantidad de polvo en menos tiempo. Todo esto ha provocado una mayor presión sobre los sistemas de extracción localizada en las máquinas.

La maquinaria más antigua de los aserraderos, tiene un diseño deficiente de la cubierta de aspiración, en consecuencia el polvo no es aspirado en su origen. Actualmente la cubierta de aspiración de las máquinas esta diseñada para asegurar la aspiración máxima de polvo y de virutas desde el lugar mismo de su generación. Para ello, las partes de la máquina en funcionamiento deben incluir (donde sea posible) el

movimiento del polvo. Las bocas de aspiración deben estar lo más cerca posible a los puntos de corte y estar ubicadas a modo de poder capturar la cantidad máxima de polvo y aprovechar el movimiento natural del aire.

En el presente proyecto se ha dimensionado el sistema de depuración del aire, mediante el cual las partículas que hayan sido capturadas por la cubierta de aspiración de la maquinaria, encargada del mecanizado de la madera, son conducidas, a través de un sistema de conductos, hacia el equipo de captación de partículas (ciclón), donde éstas son separadas del aire y almacenadas en un tanque.

3.2 OBJETIVOS UN SISTEMA DE CONTROL DE POLVO

Un sistema efectivo de control de polvos debe estar orientado a tener tres objetivos de operación:

- ✓ Mejorar la seguridad y productividad del trabajador:

Un sistema de control de polvos debe reducir, suprimir ó remover polvos peligrosos para crear un ambiente en el cuál los trabajadores puedan trabajar con más seguridad y ser más productivos.

- ✓ Cumplir con las normas que impone el gobierno:

Un sistema de control de polvos debe cumplir con las normas nacionales así como con las normas de cualquier institución local ó reglas internas de planta orientadas a incrementar la calidad del aire.

- ✓ Mejorar la economía de la producción de la planta:

Un sistema de control de polvos puede reducir los costos de producción de varias maneras. Puede recuperar producto bueno, el cuál puede ser vendido y por si solo puede justificar la optimización ó instalación del sistema. Puede mejorar la calidad del aire en el área de trabajo, y en consecuencia reducir el ausentismo de los trabajadores así como la rotación de los mismos, mejorando la moral y productividad, reduciendo los costos de los seguros de gastos médicos y compensaciones para los obreros. Un sistema

de control de polvos también reduce los costos de limpieza de las naves al ser menos frecuentes las operaciones de limpieza de las estructuras, ventanas, así como el lavado de las ropas de los trabajadores. Puede reducir también el mantenimiento de los equipos capturando el polvo que causa fallos ó mal funcionamiento en componentes eléctricos ó electrónicos, excesivo desgaste o fallos de otros equipos. Finalmente, un sistema puede reducir o eliminar la posibilidad de que la empresa pueda encontrarse culpable y merecedora de multas por no cumplir con las normas establecidas para el mejoramiento de la calidad del aire.

3.3 VIABILIDAD

La viabilidad de este proyecto está avalada por las existencias de aserraderos en los que se realizan los procesos de mecanizado de la madera. El polvo de madera emitido en estos procesos necesita ser extraído del lugar de trabajo por lo que se necesita de un sistema de depuración del aire en el que se incluya: diseño de una campana, en el caso que sea necesario; elección de una máquina de impulsión; dimensionamiento de un equipo de captación de polvo (ciclón) y un silo de almacenamiento.

La elección del *ciclón* como sistema de captación de partículas, se ha realizado basándose primero en el tipo de captador mecánico tecnológicamente más adecuado y luego comparándolo económicamente con otro tipo de captador como es un filtro tejido. Estos cálculos están detallados en los anexos de cálculos de esta memoria y que finalmente demostraran que el ciclón es el captador de partículas más adecuado para este sistema.

Así mismo, se cumplen todos los requisitos tanto legales como técnicos para la implantación de este sistema de depuración del aire en un aserradero.

4. ALCANCE Y UBICACIÓN

4.1 ALCANCE

Para el dimensionamiento del sistema de depuración, se han tenido en cuenta una serie de parámetros, como pueden ser velocidades de transporte y de captura. La proyección se ha realizado partiendo de la existencia de algunas instalaciones necesarias para la implantación del sistema. Se ha considerado una nave donde se encuentra instalado el aserradero y que tiene una superficie de 88 m² y 5 m de alto y trata 3 Tn de madera diaria. El aserradero cuenta con 4 máquinas, en tres de ellas (las empleadas para cortar la madera) las emisiones de partículas son capturadas por las mismas máquinas (a través de la cubierta de aspiración) y conducidas mediante conexiones de escape directas (DEC) que son secciones de conductos (típicamente codos) dentro de los cuales fluyen directamente las emisiones. En la cuarta máquina, las emisiones se capturan a través de una campana ya que se trata de una máquina pulidora que emite partículas de diámetro inferior a las emitidas por las máquinas anteriores lo que hace imposible su captura directa.

Se pretende dimensionar la instalación para que se cumpla el valor límite ambiental (VLA) a la exposición de polvo de madera del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo), definido para una exposición de 8 horas, siendo este de 5 mg/m³. Así se abordará el diseño mecánico del ciclón y del depósito de almacenamiento, el cálculo del sistema de tubería, así como, los aspectos tanto de seguridad e higiene como medioambientales, las condiciones de operación y mantenimiento.

4.2 UBICACIÓN

Los impactos ambientales, como polvo, ruido y olores, que se originan en el procesamiento y transformación de la madera, se pueden eliminar en su mayor parte mediante una elección adecuada del emplazamiento, alejando las instalaciones de los núcleos poblados.

La mayoría de los aserraderos suelen estar ubicados en función del lugar de procedencia de la materia prima, es decir, cerca de los bosques de los que obtienen sus troncos, y muchos se emplazan en comunidades pequeñas y a menudo aisladas, donde en ocasiones son la única fuente importante de empleo y el componente más importante de la economía local. Aunque puede haber algunos aserraderos situados cerca de las áreas urbanas.

5. PROCESO DE DEPURACIÓN DEL AIRE

5.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de todo el proceso los trabajadores del sector de la madera se pueden encontrar expuestos a diferentes contaminantes químicos que pueden constituir un riesgo para su salud, el más importante y específico de ellos es el polvo de madera.

Todos los riesgos derivados de la exposición de agentes químicos en el procesado de la madera pueden ser evitados o reducidos adoptando las medidas de protección adecuadas, por ello un sistema de tratamiento del aire que permita eliminar los contaminantes de la atmósfera en la que se desenvuelve el trabajador para evitar que se introduzcan en su organismo y produzcan enfermedades, es decir un sistema de depuración del aire.

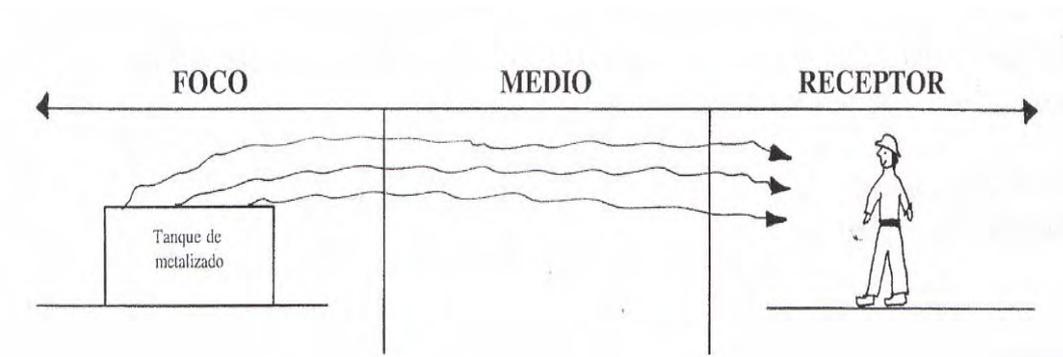
Se denomina depuración del aire a la acción de disminuir el contenido de polvo y partículas en suspensión presentes en el aire.

Normalmente, el contaminante, es decir, las partículas, pueden encontrarse en tres puntos: foco de emisión del contaminante, medio donde se propaga el contaminante y trabajador receptor del contaminante. Por lo tanto las acciones de control se deberían efectuar sobre tres partes del proceso:

✓ *Fuente de generación del contaminante:* tiene por objeto impedir la formación del mismo, o en caso de que esto no sea posible, evitar el paso hacia la atmósfera del puesto de trabajo.

✓ *Medio ambiente o de difusión:* consiste en evitar que el contaminante ya generado se extienda por la atmósfera y alcance niveles de concentración peligrosos para el personal expuesto.

✓ *Receptor u operario:* tiene por finalidad proteger al operario para que el contaminante en cuestión no penetre en el organismo del mismo.



Sobre el foco se puede actuar de las siguientes maneras:

- Diseño de proceso, teniendo en cuenta los riesgos higiénicos.
- Sustitución del producto.
- Modificación del proceso o método de trabajo.
- Encerramiento del proceso.
- Aislamiento del proceso.
- Utilización de métodos húmedos.
- Correcto mantenimiento y limpieza.
- Extracción localizada.

Sobre el medio se puede actuar por:

- Limpieza.
- Ventilación general.
- Aumento de la distancia entre el emisor y el receptor.
- Sistemas de alarma.

Sobre el operario puede actuarse por:

- Formación y capacitación del personal.
- Disminución de los tiempos de exposición a través de la rotación de personal.
- Encerramiento del operario.
- Equipos de protección personal.
- Higiene personal.

5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS EMISIONES

Atendiendo al origen de las emisiones, éstas se pueden clasificar en *fugitivas* y *conducidas*. Las primeras se producen en procesos abiertos a la atmósfera, éstas han de ser captadas para poder depurarlas. Para ello se emplean equipos, llamados campanas que, situados en la cercanía del foco emisor, pueden aspirar o recibir los contaminantes y conducirlos mediante un conducto y un ventilador apropiados, a los sistemas de depuración. Junto con el contaminante, la campana aspira una cierta cantidad de aire ambiente de cuya cuantía depende la eficacia y el coste de la operación de captación.

Las emisiones conducidas son aquellas que son originadas y/o captadas en el interior de un equipo por lo que pueden ser conducidas mediante una tubería desde éste al sistema de depuración.

5.3 VENTILACIÓN

La ventilación es un sistema de actuación para controlar el riesgo por la exposición a polvo de madera. La ventilación se basa en dos procedimientos básicos que son: ventilación general o ventilación por dilución y ventilación por extracción localizada.

5.3.1 VENTILACIÓN GENERAL O POR DILUCIÓN

La ventilación general, conocida también como ventilación por dilución, es el método por el que se trata de controlar la contaminación laboral, mediante la adición al ambiente de los puestos de trabajo de aire limpio, en características físicas y caudales ideales, con la única misión de mejorar las condiciones de trabajo.

En general, este método de ventilación, no es el mejor para eliminar riesgos higiénicos, no obstante existen circunstancias que aconsejan la implantación de una ventilación general por dilución, debido a que el proceso no permite una ventilación localizado. Estas circunstancias se suelen dar por el hecho de que la ventilación por dilución se puede instalar de una forma más económica que la extracción localizada. Así y todo, no se recomienda tener en cuenta solo los aspectos económicos, ya que para conseguir una dilución aceptable la mayoría de las veces implica suministro de grandes volúmenes de aire, que a la vez es necesario extraer, por lo que se añade una inversión extra en el sistema de acondicionamiento.

La ventilación general tiene cuatro factores que limitan su implantación:

1. La concentración de contaminantes no debe ser muy grande, ya que necesitaría grandes volúmenes de aire para diluirlo, constituyendo un proceso muy costoso
2. Los puestos de trabajo deben encontrarse lejos de los focos de emisión del contaminante, ya que en caso contrario, sería prácticamente imposible bajar la cantidad recibida por el trabajador a límites de seguridad.
3. Por los dos motivos anteriores, la toxicidad del contaminante debe ser baja.
4. El contaminante debe emitirse al ambiente de forma regular, en caso contrario, si la evolución del contaminante es muy irregular, en un instante el caudal de dilución sería excesivo, y un segundo más tarde podría ser insuficiente.

La ventilación general puede ser de dos tipos, dependiendo de la forma de introducir aire limpio en el ambiente laboral. Las dos clases de ventilación por dilución son:

- Ventilación natural
- Ventilación mecánica

5.3.1.1 VENTILACIÓN NATURAL

La ventilación natural que suele ser la menos usada dentro de las de dilución para controlar pequeñas contaminaciones, está basada en la renovación natural del aire en las instalaciones industriales por la acción del aire atmosférico en movimiento, como consecuencia de la diferencia de densidad entre el aire del interior y del exterior. Puesto que el parámetro determinante es la densidad del aire y esta depende de la temperatura, uno de los aspectos fundamentales al aplicar esta ventilación, será todos los elementos que puede calentar el aire introducido en la nave, es decir, conocer todas las fuentes de calor existente. Otra de las circunstancias a tener en cuenta es la velocidad del viento al introducirse por las tuberías abiertas en la nave.

Estas consideraciones hacen que la ventilación natural, al ser muy difícil su control, no sea utilizada en la mayoría de los casos y sea empleada en aquellos donde la dilución para confort sea el objetivo principal.

5.3.1.1 VENTILACIÓN MECÁNICA

Debido a la gran cantidad de problemas que presenta el control de la ventilación de dilución por métodos naturales, se suele emplear la mecanizada. Con este procedimiento se garantiza las renovaciones a realizar en los locales de trabajo para conseguir unas concentraciones de contaminantes por debajo de los límites permitidos.

La ventilación por dilución se suele usar para controlar los vapores desprendidos por contaminantes líquidos. Este método no es muy fiable para controlar contaminaciones de humos y polvos, por existir normalmente sustancias que lo hacen inviábiles como:

- la toxicidad de estos contaminantes

- El requerir caudales excesivamente grandes para controlar la contaminación.
- Producirse excesivas contaminaciones por una alta velocidad de difusión.

Este sistema solo es aplicable con estos contaminantes como método de limpieza, cuando el nivel de contaminación se encuentra próximo, pero por debajo del TLV (valor límite ambiental) de referencia. Otra de las aplicaciones donde es recomendable la ventilación por dilución, es en la minimización del riesgo de incendio o explosión donde la concentración de un disolvente pueda superar el límite inferior de inflamabilidad o explosividad sino se efectúa una dilución.

5.3.2 VENTILACIÓN ESPECÍFICA O POR EXTRACCIÓN LOCALIZADA

Este sistema de control consiste en eliminar el contaminante en el foco donde se emite o en sus proximidades captando el mismo y expulsándolo al exterior una vez que ha sido retenido.

La terminología más comúnmente utilizada en extracciones localizadas es:

- Campana: concepto generalizado del sistema de captación en cuyas inmediaciones o en su interior se encuentra el foco contaminante, sirve para adaptar la cara de entrada de aire al conducto de extracción.
- Cara de la campana: superficie abierta por donde entra el aire del exterior.
- Distancia al punto de captura: distancia de la cara de la campana al punto donde es captado el contaminante y que generalmente se encuentra cerca del foco de generación.
- Ranura: se emplea este término cuando la cara de la campana es rectangular y estrecha, de forma que la longitud es del orden de unas diez veces la anchura, las ranuras se utilizan para conseguir una velocidad uniforme del aire en la cara de la campana.
- Velocidad de captura: velocidad del aire hacia la campana, medida en el foco o punto de captura. Es la velocidad de aire necesaria en la zona exterior de la campana para vencer las corrientes exteriores existentes y captar el aire contaminado de dicha zona exterior.

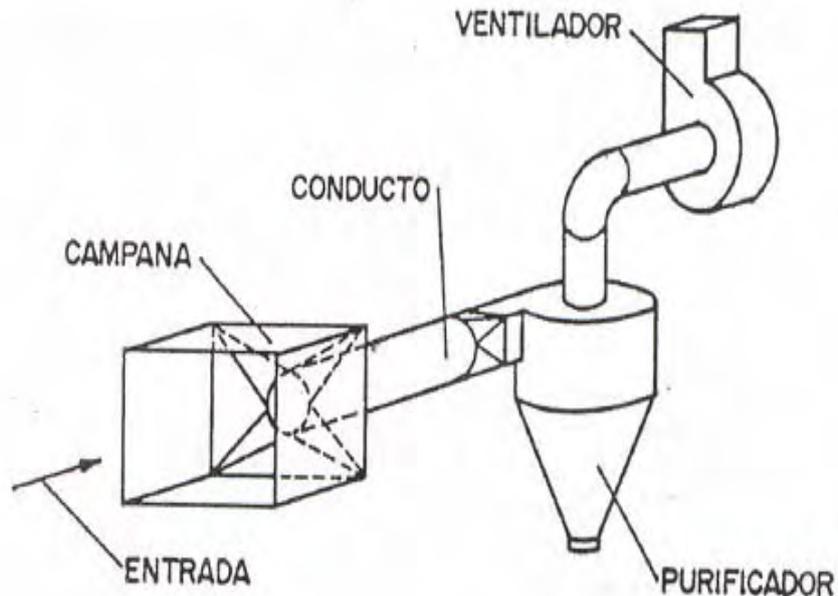
- Velocidad en cara: velocidad del aire en la cara de la campana o ranura.
- Velocidad en conducto: es la velocidad media del aire en el interior del conducto.
- Velocidad en plenum: es la velocidad media del aire en el plenum, o zona o velocidad de control posterior a la campana que une esta con el conducto de extracción.
- Velocidad de transporte: es la velocidad mínima del aire necesaria para arrastrar las partículas de contaminante a través del sistema de extracción (normalmente en los conductos).

Como se indicó anteriormente el método consiste en capturar contaminantes existentes en el aire del ambiente laboral (polvo, humo, etc...) en o cerca de su punto de generación o dispersión, para controlar y reducir la contaminación ambiental en la zona de trabajo. Este sistema tiene una mayor seguridad y fiabilidad dentro de los métodos mecánicos de control del flujo de aire, uno de los motivos por lo que ha sido seleccionado para el propósito del presente proyecto.

Normalmente es el de mayor garantía para controlar un ambiente contaminado, y entre sus ventajas podemos relacionar las siguientes:

1. Con un diseño adecuado, la captura y control de un contaminante puede ser completa.
2. El caudal requerido suele ser bajo con el consiguiente ahorro energético y económico.
3. El contaminante se captura en un menor volumen de aire.
4. El sistema de extracción localizada en industrias donde existen partículas sedimentables, hace disminuir la limpieza de los locales, al evitar la citada sedimentación.
5. Protege a los elementos, de corrosión y abrasión, al eliminar contaminantes con estas características.
6. El sistema no se ve afectado por la velocidad o dirección del viento exterior al requerir ventiladores – extractores de alta presión para vencer las distintas pérdidas de carga del sistema.

El sistema de extracción localizada consta de cuatro elementos básicos como se muestra en el esquema adjunto:



Campana: estructura diseñada para encerrar total o parcialmente una operación productora de contaminante y producir un flujo de extracción de aire capaz de capturar el contaminante que pasa a los conductos de evacuación.

Conducto: conjunto de elementos de conducción del aire contaminado, capturado en la campana para unirse esta al purificador.

Purificador: elemento captador del contaminante del conducto para purificar el aire.

Extractor – Ventilador: elemento mecánico capaz de producir una depresión suficiente para conseguir una velocidad de captura adecuada, después de vencer todas las pérdidas de carga producidas en los restantes elementos del sistema.

5.4 CAMPANA

De los varios componentes de un sistema de control de la contaminación del aire, el dispositivo de captura es el más importante. Esto debe ser autoevidente, porque si las emisiones no son capturadas eficientemente en la fuente, no pueden ser conducidas a, y removidas por un dispositivo de control. Hay dos categorías generales de dispositivos de control: DEC (direct exhaust connections) (conexiones de escape directas) y campanas.

Como el nombre lo implica una DEC es una sección de conducto (típicamente un codo), dentro de la cual fluyen directamente las emisiones. Estas conexiones son utilizadas con frecuencia cuando las emisiones son conducidas. En el dimensionamiento del sistema de depuración de aire del presente proyecto, las DEC están conectadas a la maquinaria del aserradero la cual esta diseñada con cubiertas de aspiración capaces de aspirar la cantidad máxima de polvo y de virutas desde el lugar mismo de su generación.

Las campanas comprenden una categoría mucho más amplia que las DEC's. Son utilizadas para capturar particulados, gases y/o rocíos emitidos desde la fuente.

5.4 TIPOS DE CAMPANA

En general se denominan campanas a todos los tipos de aberturas por donde penetra el aire a los conductos. Aunque los nombres de ciertas campanas varían dependiendo de cual fuente se consulte, hay un acuerdo general en como se clasifican. Hay cuatro tipos de campanas:

1. Campanas de Envoltura: éstas son de dos tipos; aquellas que están completamente cerradas al ambiente exterior y aquellas que tienen aberturas para la entrada /salida del material.

El primer tipo es solo utilizado cuando se maneja material radioactivo, el cual debe manejarse con manipuladores remotos. Estos tipos raramente son utilizados en control de contaminación del aire

El segundo tipo, de envoltura total, esta equipada con pequeñas aberturas en la pared que se llaman natural draft openings – NDO (aberturas de tiro natural) que permiten que el material sea movido hacia dentro o fuera y para ventilación.

2. *Cabinas*: estas son como las envolturas que rodean la fuente de emisión, excepto una pared (o porción de ésta), que se omite para permitir el acceso a operadores y a equipo. Como las envolturas, las cabinas deben de ser lo suficientemente grandes para prevenir que los particulados incidan sobre las paredes interiores.

3. *Campanas de Captura o Extractoras*: al contrario a las envolturas o cabinas, no encierran a la fuente del todo. Son aquellas que en el entorno del foco emisor, inducen, vía ventilador, una velocidad del aire, llamada velocidad de captura, suficiente para aspirar el contaminante hacia la boca de la campana. Estas campanas son las que requieren mayor caudal de aire pero, al mismo tiempo, son las de uso más generalizado ya que se pueden adaptar a cualquier tipo de foco.

4. *Campanas Receptoras*: (también llamadas campanas pasivas o de toldo) son aquellas que recogen el contaminante proyectado en una dirección dada. Se localiza típicamente arriba o al lado de una fuente, para recolectar las emisiones, a las cuales se les da impulso por la fuente. La velocidad inicial de las emisiones suele ser suficientemente alta para conducir las a la campana receptora. Un tipo especial de campana receptora es la campana de techo que actualmente solo se emplea en procesos que emiten gases calientes.

5.4.2 SELECCIÓN Y DISEÑO DE CAMPANAS

El objetivo principal de una campana es evitar la presencia de contaminantes, gases o aerosoles, en la zona de respiración de los trabajadores. Este objetivo debe alcanzarse sin dificultar la operación de los mismos ni alterar las condiciones básicas del proceso y con el menor coste asociado posible.

El tipo de campana adecuado a cada caso depende de las características del foco emisor y del puesto de trabajo. Entre ellas cabe citar: la geometría y dimensiones de ambos, la velocidad y dirección inicial del contaminante y su temperatura.

El factor de mayor incidencia económica es el caudal de aire requerido por la campana para alcanzar su objetivo. Ello es así porque los costes de operación, asociados a la impulsión del gas a través de todo el sistema de depuración, son mayores que los de inversión. Consecuentemente, si hay dos tipos de campanas que puedan ser apropiadas para una aplicación dada, deberá ser elegida la que requiera menor caudal.

Cuando se diseña una campana existen varios factores de diseño que deben ser considerados:

- Forma de la campana
- Razón de flujo volumétrico
- Velocidad de captura
- Fricción

La forma de la campana ésta determinada por la naturaleza de la fuente, esto incluye factores tales como la temperatura y la composición de las emisiones, así como las dimensiones y la configuración de la corriente de la emisión. Por otro lado, la forma de la campana determina la razón de flujo volumétrico necesario para capturar la emisión.

Las campanas de envoltura que cubren totalmente el foco emisor, se diseñan de manera que la velocidad de aire en la sección de entrada esté entre 30 y 60 m/min. Multiplicando esta velocidad por el área de la sección de entrada se obtiene el caudal requerido.

Las campanas extractoras han de crear unas corrientes direccionadas de aire con la suficiente velocidad para capturar los contaminantes que incluso se emitan en la dirección opuesta a la que está la campana. Cuando se trata de una emisión de baja velocidad en aire estacionario se recomienda que exista una velocidad mínima de captura entre 15 y 30 m/min en el punto más distante de la cara de la campana en el que quepa esperar la presencia de contaminante. Sin embargo, cuando el contaminante se emite a alta velocidad en aire turbulento, la velocidad de captura deberá ser 10 veces superior. En la bibliografía especializada existe información sobre las velocidades de captura recomendadas para cada tipo de proceso.

La geometría y dimensiones de la campana extractora dependen de los requerimientos de espacio de la operación, tendiendo siempre a encerrar lo más posible el foco y a situarse lo más cerca posible del mismo. Fijada la geometría y el área de la cara de la campana y conocida la velocidad de captura en un punto o en un contorno de

los alrededores, el problema de diseño queda reducido a determinar la velocidad necesaria de aire en la cara y, consecuentemente su caudal.

Las campanas receptoras cuyo campo está limitado a la captación de gases calientes procedentes de tanques abiertos, requieren un caudal inferior a las campanas extractoras. Se recomienda que la velocidad ascensional de la columna de gases clientes esté comprendida entre 0,5 y 1 m/s. Cuanto mayor sea ésta más eficaz será la campana, pero mayor el caudal de extracción y por tanto, los costes de operación.

5.5 SISTEMA DE CONDUCTOS

Una vez que la emisión sea captada ya sea por la campana o por una conexión de escape directa, es conducida al dispositivo de control vía un sistema de conductos. Los términos “sistema de conductos” denotan todo el equipo entre el dispositivo de captura y el dispositivo de control. Esto incluye: conductos rectos; accesorios, tales como codos y tes; dispositivos de control de flujo; y soporte de los conductos.

En sistemas de control de la contaminación del aire, el ventilador usualmente se localiza inmediatamente antes o después del dispositivo de control. Consecuentemente la mayor parte del sistema de conductos esta bajo presión estática negativa. Estas condiciones de presión dictan el tipo de conducto utilizado, así como otros parámetros de diseño.

El sistema de conductos se fabrica ya sea de metal o de plástico, siendo dictada la selección del material por las características de la corriente del gas residual, consideraciones estructurales, costos de compra e instalaciones, estética y otros factores. Los metales utilizados incluyen acero al carbono (sin protección o galvanizado), acero inoxidable y aluminio. Los plásticos más utilizados son PVC (cloruro de polivinilo) y FRP (plástico reforzado con fibra de vidrio), aunque el PP (polipropileno) y el LPE (polietileno lineal) también se han aplicado. Sin embargo un inconveniente serio del PP y del LPE, es que ambos son combustibles.

Los sistemas de conductos de PVC y de otros plásticos, son resistentes a una variedad de sustancias corrosivas, desde agua hasta ácido sulfúrico al 95%. Pero los sistemas de conductos de plásticos no pueden tolerar temperaturas ambientales por encima de 60 °C. Los sistemas de conducto de metal pueden manejar temperaturas hasta de aproximadamente 530 °C, pero solamente ciertas aleaciones pueden tolerar corrientes corrosivas.

En términos de construcción, los sistemas de conductos pueden ser rígidos o flexibles. Como el nombre implica, los sistemas de conductos rígidos, sean de metal o de plástico, tienen una forma rígida. Contrariamente, los sistemas de conductos flexibles pueden doblarse para tomar en cuenta situaciones donde el espacio es limitado o donde su disposición es tan intrincada que los accesorios rígidos no pueden cumplir con los requerimientos de construcción. Usualmente, de sección transversal de forma circular, los conductos flexibles pueden ser fabricados de metal o de plástico y pueden ser aislados o no aislados.

El sistema de conductos rígidos se fabrica de sección transversal de forma circular, ovalada, o cuadrada /rectangular. De estas, los conductos circulares son los más comúnmente utilizados en sistemas de control de contaminación del aire. Aunque el conducto cuadrado /rectangular es ventajoso de utilizar cuando el espacio es limitado, el conducto redondo ofrece varias ventajas. Resiste el colapso, proporciona mejores condiciones de transporte y utiliza menos metal que las formas cuadradas /rectangulares u ovaladas planas de áreas de sección transversal equivalentes.

El conducto circular rígido se clasifica aún más de acuerdo a su método de fabricación:

- El conducto de costura longitudinal se hace doblando una hoja de metal en forma circular sobre un mandrel (eje), y soldando juntos los dos extremos.
- El conducto de costura en espiral se construye de una tira larga de hoja de metal, cuyos bordes son unidos por un cordón helicoidal que corre a lo largo del conducto. Este cordón, está levantado o a ras de la pared del conducto.

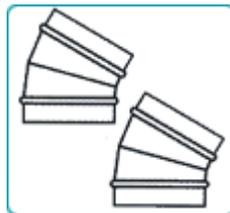
El método de fabricación y la forma de la sección transversal no son las únicas consideraciones al diseñar el sistema de conductos. Se debe también especificar, el diámetro, el espesor de pared, tipo, número y localización de accesorios, controles y soportes, y otros parámetros.

El sistema de conductos necesita estar aislado si la temperatura o el contenido de humedad de la corriente de gas es excesiva. El aislante inhibe la pérdida /ganancia de calor, ahorrando energía, por un lado, y previene condensación, por el otro. El aislante protege también al personal que pudiera tocar el sistema de los conductos, de sufrir quemaduras.

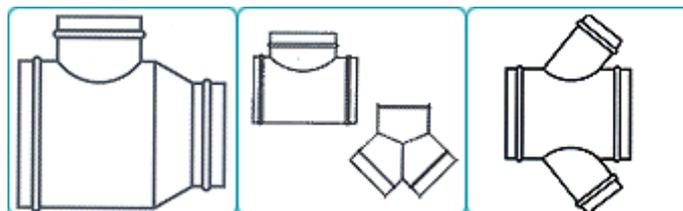
5.5.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONDUCTOS

Tal como se mencionó anteriormente, un sistema de conductos consiste de conductos rectos, accesorios, dispositivos de control de flujo y soportes. El conducto recto se explica por si mismo es fácil de visualizar. La categoría accesorios, sin embargo, abarca un rango de componentes que realizan una o más de las siguientes funciones: cambia la dirección de la corriente de gas conducida, modifica la velocidad de la corriente, une a otro/s conducto/s, facilita la conexión de dos o más componentes o permite la expansión /contracción cuando surgen los esfuerzos térmicos.

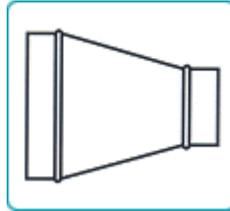
Los accesorios más comúnmente utilizados son los **codos**. Estos sirven para cambiar la dirección de la corriente de gas, típicamente en 30°, 45°, 60° o 90°, aunque igual pueden fabricarse para otros ángulos. El radio a la línea central del codo determina la razón a la que ocurre este cambio direccional.



Las **Tes** son utilizadas cuando dos o más corrientes de gas deben conectarse. En las Tes rectas, las corrientes convergen con un ángulo de 90°, mientras que en las tes angulares la conexión es hecha a 30°, 45°, 60°, o en algún otro ángulo. Las tes pueden tener una conexión o dos, y pueden tener ya sea una sección transversal recta o cónica ya sea en uno o en los dos extremos. Las cruces también son utilizadas para conectar ramales de conductos. Aquí dos ramales se intersectan uno con otro en ángulo recto.



Los reductores (comúnmente llamados expansiones o contracciones), se requieren cuando deban unirse conductos de diferentes diámetros. Los reductores son de diseño ya sea concéntricos o excéntricos. En los reductores concéntricos, el diámetro se estrecha gradualmente desde la sección transversal mayor a la más pequeña. Sin embargo, en los reductores excéntricos, el diámetro disminuye completamente en un lado de la conexión.



Para controlar la razón de flujo volumétrico a través de sistema de ventilación, se utilizan válvulas. Las válvulas son usualmente clasificadas de acuerdo al mecanismo de control del flujo, de la presión (baja o alta) y medios de control (manual o automático). Las válvulas que se encuentran instaladas en las tuberías pueden realizar alguna de las siguientes funciones:

- Impedir totalmente la circulación de un fluido por una tubería, o bien permitirla sin oponer ningún obstáculo. Por ejemplo, las válvulas de compuerta o gate valves.
- Variar la pérdida de carga que sufre un fluido al atravesar la válvula con lo cual se puede regular el caudal que circula por la tubería. Por ejemplo, las válvulas de asiento o globe valves
- Permitir la circulación de un fluido a través de la válvula en un único sentido. Por ejemplo, válvulas de retención o check valves.
- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, únicamente cuando la diferencia de presión a un lado y otro de la misma, sobre pasa un cierto valor previamente establecido. Por ejemplo, válvulas de seguridad o safety-relife valves.
- Permitir el paso de un fluido a través de la válvula, cuando dicho fluido se presenta en forma líquida, pero no si se presenta en forma gas o vapor, o viceversa. Por ejemplo, los purgadores automáticos o steam traps.

Los principales tipos de válvulas son:

➤ Válvulas de Compuerta: este tipo de válvula resulta poco recomendable para una regulación cuidadosa del flujo, aunque si es muy adecuada para servicios que requieran frecuentes cierres o aperturas. Estas válvulas no deben ser utilizadas de forma prolongada para regular el caudal del fluido que pasa por una tubería, pues se averían rápidamente, aparte de que la regulación sería muy inexacta. Funcionan mediante una compuerta, cuya traslación se asegura por un vástago roscado que se desplaza perpendicularmente al flujo. La compuerta obtura la sección de paso del fluido al deslizarse entre dos aros fijos en el cuerpo. Existen varios tipos de válvulas de compuerta las más comunes son las de puente y de husillo. Sus principales aplicaciones: servicio general, aceite, gas, aire, pastas semilíquidas, líquidos pesados, vapor, gases y líquidos no condensables, líquidos corrosivos.

➤ Válvulas de Globo: son recomendables para servicios de regulación del flujo y se utilizan también como elemento de cierre para las presiones muy altas. El movimiento del fluido queda interrumpido por un obturador, que cierra el paso entre los dos lados del cuerpo de la válvula. La estanqueidad queda asegurada por el aro del cuerpo y del obturador. El cuerpo va cubierto por una tapa, roscada o con bridas, según el diámetro, que recibe el sistema de estanqueidad del vástago de maniobra, estando sujeto en la tapa para subir o bajar el obturador. Sus principales aplicaciones: servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos y pastas semilíquidas.

➤ Válvulas de Retención: su finalidad es evitar el retorno del fluido. Pueden ser de varios tipos: de chapaleta o clapeta, de pistón y de bola. Su principal aplicación es para servicios con líquidos a baja velocidad.

➤ Válvulas de Macho: son válvulas de cierre, que se utilizan en algunos casos para regulación. Están constituidas por un elemento cónico o esférico, llamado macho, que lleva una abertura, al girar obtura o descubre el paso del fluido. Estas válvulas introducen una pérdida de carga mínima en el flujo y dan mayor seguridad de cierre que las de compuerta. Pueden ser de dos tipos: lubricadas o sin lubricación. Sus principales aplicaciones: servicio general, pastas semilíquidas, líquidos, vapores, gases y sustancias corrosivas.

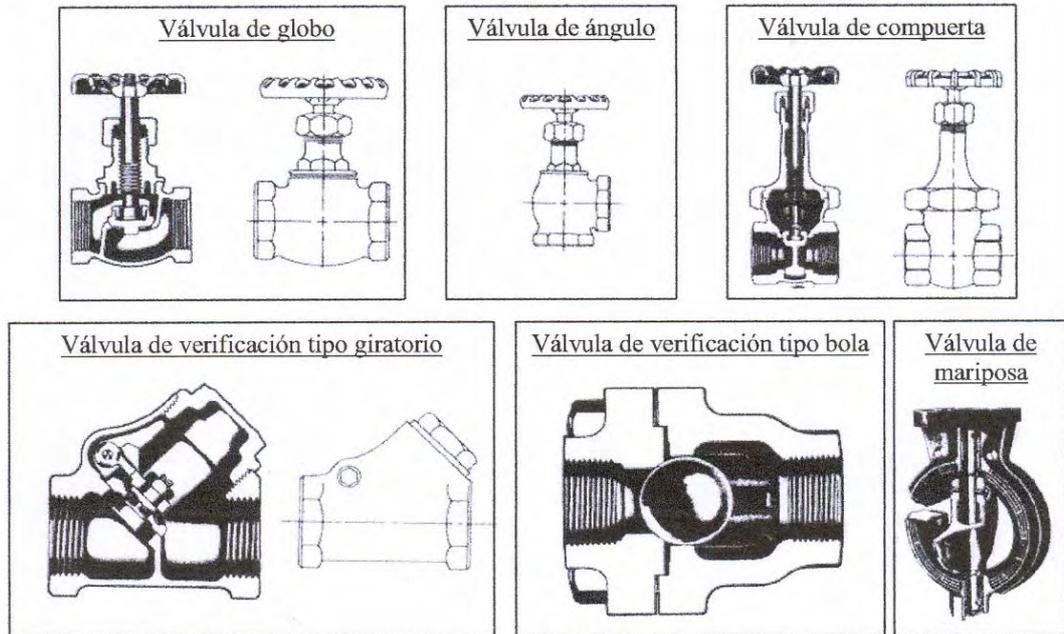
➤ Válvulas de Mariposa: estas válvulas son de construcción extremadamente simple, tienen su aplicación fundamental en la regulación de caudal en tuberías de gran tamaño y se prestan muy bien al accionamiento neumático, hidráulico, etc. Pueden utilizarse tanto para líquidos como para gases. No se consigue con estas válvulas un cierre perfectamente estanco, ni tampoco son utilizables en líneas de alta presión. Las válvulas de mariposa crean insignificante pérdida de carga en la línea cuando están completamente abiertas. Sus principales aplicaciones: servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos y gases con sólidos en suspensión.

➤ Válvulas de Seguridad: estas válvulas se utilizan para proteger a los equipos o tuberías a los cuales van conectados, de un exceso de presión, para lo cual dichas válvulas, que están normalmente cerradas por la acción de un muelle, se abren cuando la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la válvula alcanza un cierto valor previamente establecido. Existen básicamente dos tipos de válvulas de seguridad, que son las safety valves y las relief (desahogo). Son recomendadas para sistemas que necesiten límites predeterminados de presión.

➤ Válvulas de control: son válvulas que están diseñadas para ejercer un ajuste perfecto de regulación y monitoreo (registro) del flujo dentro de un sistema de tuberías. Pueden ser manuales o automáticas. Las primeras tienen una manivela unida a una varilla de control, la cual se utiliza para ajustar el flujo a mano. La válvula de control automática recibe una señal eléctrica, neumática o hidráulica para ejercer la regulación o limitar la presión. El tipo de válvula más utilizada para el control automático es la de globo, aunque se pueden utilizar otros tipos la de globo resulta más efectiva para la función aquí descrita.

Existen, además, otros tipos de válvula de uso menos frecuente como son las de aguja, de diafragma, etc.

A continuación se muestran algunos tipos de válvulas:



En un sistema de conductos también se instalan *juntas de expansión*, especialmente en tramos largos de conductos metálicos para permitir al sistema de conductos expandirse o contraerse en respuesta a esfuerzos térmicos. Estas conexiones son de varios diseños.

El último componente considerado es el *sistema de soporte* del sistema de conductos. Sin embargo está lejos de ser el menos importante. Como establece el manual HVAC Duct Construction Standards (Normas de Construcción de Conductos de Aire Acondicionado para Calefacción y Ventilación) de la Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (Asociación Nacional de Contratistas de hojas de Metal y Aire Acondicionado). “La selección de un sistema de soporte no debe tomarse a la ligera, puesto que implica no solo una porción importante del trabajo de construcción, pero también porque la construcción de sistema inadecuado de soporte puede ser desastroso”. Como regla, debe proporcionarse un soporte aproximadamente cada 3 metros de tramo de conducto.

El sistema de conductos puede suspenderse del cielo o de otras estructuras elevadas por medio de perchas o soportadas desde abajo por vigas, pilares u otros soportes.

Un sistema de suspensión consiste típicamente de un accesorio superior, un colgante y un accesorio inferior. El accesorio superior une el colgante al cielo. Este puede ser un perno o un sujetador tal como un remache o un clavo. El colgante es generalmente un tirante de acero galvanizado, una varilla redonda de acero o un alambre que es anclado al cielo por el accesorio superior.

El tipo de colgante utilizado será dictado por el diámetro de conducto. Por ejemplo los colgantes de alambre son recomendados para conductos de diámetro de hasta 10 pulgadas (0,254 m).

Para diámetros mayores deben utilizarse tirantes o varillas. Típicamente se tira un colgante de tirante desde el accesorio superior, se ciñe alrededor del conducto y se asegura por un sujetador al accesorio inferior. Un colgante de varilla también se extiende hacia abajo desde el cielo. A diferencia de los de tirantes, se sujetan al conducto por una banda o bandas que ciñen alrededor de la circunferencia.

Los conductos de diámetro mayores a 3 pies (0,9144 m), deben soportarse con dos colgantes, uno a cada lado del conducto, y asegurarse a dos bandas circundantes, una en la parte de arriba y otra en la de abajo del conducto.

5.5.2 PARAMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONDUCTOS

Las variables primarias para el diseño del tamaño del sistema de conductos son la longitud, diámetro, y espesor de pared. Otro parámetro es la cantidad de aislante requerido, si éste es necesario.

La *longitud* del sistema de conductos necesaria con un sistema de control de la contaminación del aire, depende de factores tales como la distancia de la fuente al dispositivo de control y el número requeridos de cambios direccionales.

El *diámetro* ya que se prefiere la forma circular a la rectangular, ovalada u otras formas de conducto. El área de la sección transversal del conducto depende del diámetro y esta es el cociente de la razón de flujo volumétrico y de la velocidad de transporte en el conducto. Como la variable clave suele ser la velocidad de transporte en el conducto, ésta debe ser escogida cuidadosamente, ya que si es muy baja el conducto estará sobre dimensionado y, más importante, la velocidad no será lo suficientemente alta para conducir la materia particulada en la corriente de gas residual al dispositivo de control. Sin embargo, si la velocidad de transporte es muy alta, la caída de presión estática (la

cual es proporcional al cuadrado de la velocidad), será excesiva, como lo será el correspondiente consumo de energía del ventilador.

A continuación se muestra una tabla de velocidades de transporte mínimo para algunos materiales conducidos:

Material conducido	Velocidad mínima de transporte (m/s)
Gases, vapores, humos y polvos muy ligeros (óxidos de zinc y aluminio, madera harina y algodón)	10
Polvo seco de densidad media (serrín, granos, polvo de materiales plásticos y de goma)	15
Polvo medio industrial (chorreado de arena, esmeriles, pulidoras, virutas de madera y polvo de cemento)	20
Polvos pesados (plomo, partículas metálicas de mecanizado)	25

El *espesor* de pared de un conducto depende de varios factores, presión interna, diámetro, material de fabricación y otros parámetros estructurales. No obstante, un conducto de un diámetro dado puede fabricarse de un rango de espesores de pared y viceversa.

El *aislante*, si es necesario, puede ser instalado ya sea en la superficie exterior del sistema de conductos o el sistema de conductos mismo puede fabricarse con el aislante interconstruido.

5.6 ALTERNATIVAS DEL EQUIPO DE CAPTACIÓN DE PARTÍCULA

El vertido directo del contaminante de una extracción localizada y más tratándose de material particulado, al exterior, daría lugar a un problema de contaminación atmosférica, por lo que debe retenerse y separarse del aire que ha servido como vehículo transportador. Por otra parte puede resultar rentable la recuperación del contaminante.

Un separador es un sistema que retiene la mayor parte del contaminante que lleva el aire. La eficacia de un separador puede llegar hasta el 99,8 %. A continuación se detallan diferentes tipos de separadores para material particulado más comúnmente utilizados:

- Separadores Mecánicos:

Son equipos baratos y sencillos. En estos equipos las fuerzas que actúan sobre las partículas para separarlas de la corriente de gas son de tipo mecánico: fuerzas gravitatorias, centrífugas, e inerciales. La magnitud de estas fuerzas depende, entre otros factores, de la masa de las partículas. A este grupo pertenecen:

- Las cámaras de gravedad
- Los ciclones
- Los separadores de impacto.

- Filtros de tejido:

En los filtros el gas cargado de partículas es obligado a pasar a través de un tejido (tela, malla o fieltro) que hace de filtro sobre cuya superficie quedan retenidas, por tamizado, las partículas mayores que los intersticios, las partículas de polvo hacen a su vez de filtro de mayor eficacia. Periódicamente es preciso descargar el polvo que se acumula sobre la superficie del filtro. Estos equipos de depuración son caros. De acuerdo al sistema de limpieza de las mangas se clasifican en:

- Limpieza por agitación
- Limpieza por aire a la inversa
- Limpieza por propulsión a chorro

- Electrofiltro o precipitador electrostático

En los electrofiltros el mecanismo de captación se basa en que las partículas son cargadas primero eléctricamente y luego sometidas a un campo eléctrico donde son atraídas hacia unas placas captadoras donde se van acumulando. Periódicamente es preciso descargar estas placas al objeto de que la eficiencia no caiga rápidamente. Los electrofiltros son también equipos caros pero eficientes para tamaños de partículas muy pequeños. No obstante son poco flexibles ante cambios en las condiciones de operación y exigentes en cuanto a las propiedades eléctricas de las partículas. Según el sistema de limpieza pueden ser:

- Precipitadores secos
- Precipitadores húmedos

Según el número de etapas:

- De una etapa: las partículas se cargan y se mantienen en el mismo campo eléctrico.
- De dos etapas: las partículas se cargan en una etapa de ionización y se retienen en una segunda cámara de precipitación.

- Lavadores y absorbedores húmedos (scrubbers):

En estos equipos la retención de partículas se lleva a cabo mediante la pulverización de agua en el seno de la corriente de gas. Las gotas actúan como obstáculos, produciéndose la captura aerodinámica de partículas sobre ellas. Las gotas cargadas de partículas y de un tamaño relativamente grande, se separan fácilmente de la corriente de gas. Los lavadores húmedos pueden alcanzar también altas eficacias pero su principal ventaja es que, simultáneamente, también pueden absorber gases contaminantes. Sin embargo, los costes de operación son elevados debido a una pérdida de carga alta y a la necesidad de tratar los lodos producidos. Los tipos son los siguientes:

- De torre o cámara
- Ciclónicos
- Con rellenos
- Mecánicos
- De inercia

5.6.1 FACTORES PARA SELECCIONAR EL EQUIPO DE CAPTACIÓN

Cada problema de la contaminación del aire es único y requiere una solución específica que debe tener en cuenta multitud de factores, entre los que destacan:

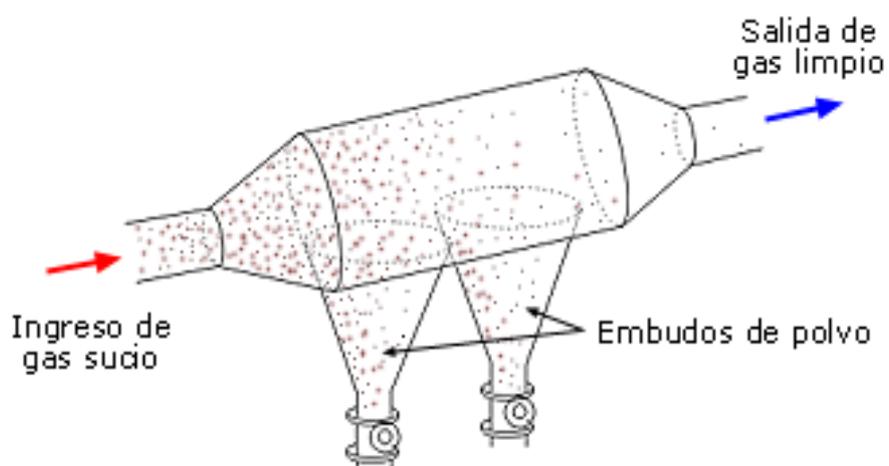
- ✓ La eficacia que es preciso alcanzar
- ✓ Características de las partículas:
 - distribución de tamaños
 - carga (o concentración) de partículas
 - propiedades físicas y químicas
 - abrasividad
 - conductividad eléctrica
 - corrosividad
 - densidad
- ✓ Características del gas portador:
 - caudal
 - temperatura y humedad
 - pérdida de carga admisible
- ✓ Factores económicos:
 - costes de operación
 - costes de inversión
- ✓ Factores técnicos:
 - espacio disponible
 - servicios auxiliares
 - mantenimiento, etc

5.6.2 SEPARADORES MECANICOS

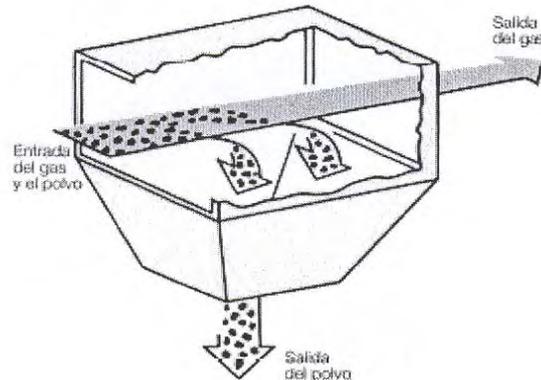
Los recolectores mecánicos son una clase de dispositivos que dependen de la gravedad y de la inercia para la separación de partículas. Son utilizados extensamente en la industria gracias a varias ventajas que poseen. Los separadores mecánicos tienen bajos costes de capital, la habilidad de operar en ambientes severos y bajos requerimientos de mantenimiento debido a la ausencia de partes móviles. También existen desventajas asociadas a los recolectores mecánicos, tales como las eficacias de recolección relativamente bajas para partículas muy pequeñas.

5.6.2.1 CAMARAS DE SEDIMENTACIÓN

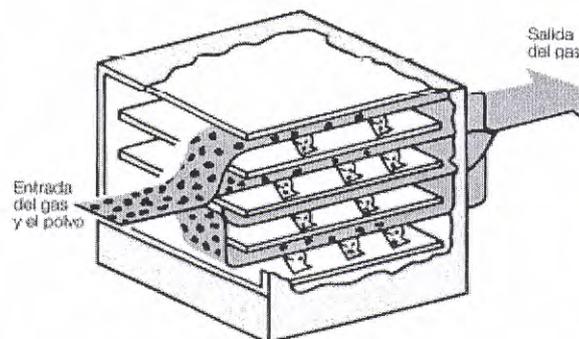
Los separadores mecánicos más sencillos son las cámaras de sedimentación que dependen de la sedimentación gravitacional como un mecanismo de recolección. A pesar de las bajas eficiencias de recolección las cámaras de sedimentación aún se siguen utilizando en la industria, aunque su uso a disminuido debido a mayores restricciones de espacio en las plantas y por la posibilidad de utilizar otros dispositivos de control. En la siguiente figura se muestra una cámara de sedimentación, en ella se pueden observar las reducciones de entrada y salida que posee a efectos de conexión con los conductos de alimentación y salida del gas. En el fondo se montan dos tolvas de recogida del sólido separado.



Existen dos tipos principales de cámaras de sedimentación: cámara de expansión y cámara de bandejas múltiples. En la cámara de expansión la velocidad de la corriente de gas es reducida significativamente a medida que el gas se expande hacia el interior de una gran cámara. La reducción en la velocidad permite que las partículas grandes se asienten separándose de la corriente de gas. La siguiente figura muestra una cámara de expansión.



Una cámara de sedimentación con placas múltiples, representada en la siguiente figura, es una cámara de expansión, con un número de placas delgadas colocadas a corta distancia entre sí dentro de la cámara, que causan que el gas fluya horizontalmente en medio de ellas. Mientras que la velocidad del gas es incrementada ligeramente en una cámara con placas múltiples, la eficacia de recolección generalmente mejora debido a que las partículas tienen que recorrer una distancia menor de caída antes de ser recolectadas. Una cámara de expansión debe ser muy grande para recolectar cualquier partícula pequeña, pero las cámaras con placas múltiples tienen menos requisitos de volumen para recolectar partículas pequeñas.



Las ventajas de una cámara de sedimentación son principalmente:

- Bajos costos de capital
- Costos de energía muy bajos
- No hay partes móviles, por lo que presenta bajos requerimientos de mantenimiento y bajos costes de operación
- Excelente funcionamiento
- Baja caída de presión a través del equipo
- El equipo no está sujeto a la abrasión debido a la baja velocidad del gas
- Proporciona enfriamiento incidental de la corriente de gas
- Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción
- La recolección y disposición tiene lugar en seco

Y sus principales desventajas son:

- Eficacia de recolección de partículas relativamente bajas, especialmente para aquellas menor a 50 μm .
- No puede manejar materiales pegajosos o aglutinantes
- Gran tamaño físico
- Las bandejas de las cámaras de bandejas múltiples se pueden deformar durante operaciones a altas temperaturas.

La eficacia de control de las cámaras de sedimentación varía en función del tamaño de partícula y del diseño de la cámara.

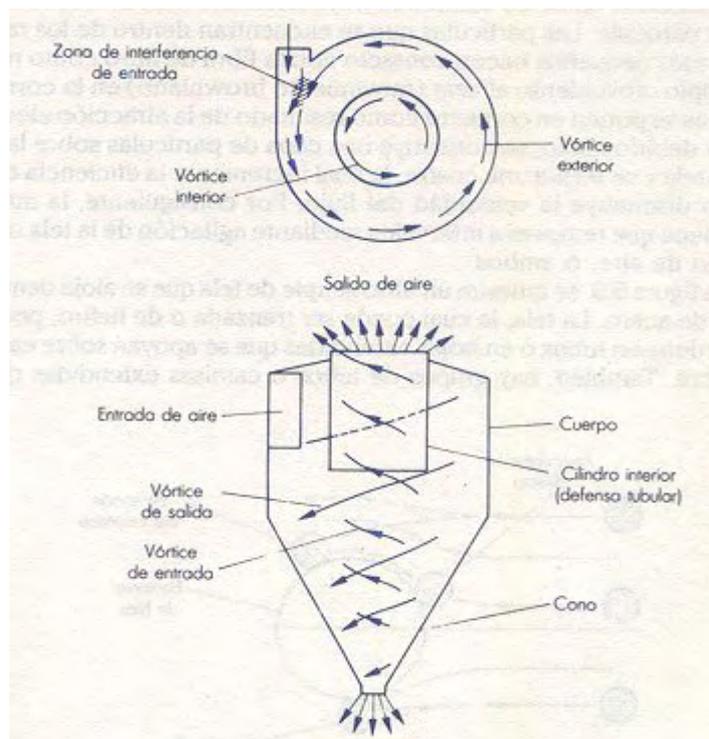
5.6.2.2 CICLONES

Los separadores ciclónicos, denominados comúnmente ciclones, son los equipos de recolección que más se emplean para separar partículas arrastradas por una corriente de gas. Pueden construirse en multitud de materiales diferentes por lo que son aptos para operar bajo condiciones severas de erosión y corrosión. Además, son relativamente baratos y al no tener partes móviles el mantenimiento es sencillo y barato.

En un ciclón convencional, el gas cargado de polvo penetra tangencialmente a una cámara cilíndrica o cónica, en uno o más puntos, y sale a través de una abertura central. En virtud de la inercia, las partículas de polvo tienden a desplazarse hacia la pared exterior del separador, resbalando hasta llegar a una zona de almacenamiento. El ciclón es, esencialmente, una cámara de sedimentación en la que la aceleración gravitacional es sustituida por la aceleración centrífuga. La boca de entrada a un ciclón es casi siempre de forma rectangular.

- **Patrón de flujo**

En un ciclón, la trayectoria del gas comprende un doble vórtice en el que el gas dibuja una espiral descendente en el lado externo y ascendente en el lado interno. A continuación, se muestra un esquema de un ciclón simple que muestra el flujo de gas:



Cuando el gas penetra en el ciclón, su velocidad sufre una redistribución de tal modo que la componente tangencial de la velocidad aumenta al reducirse el radio. La velocidad espiral dentro de un ciclón puede alcanzar un valor varias veces superior a la velocidad promedio del gas de entrada. Los análisis teóricos revelan que el rendimiento debe ser del 100% en ausencia de fricción en la pared. No obstante, mediciones reales (Shepherd y Lapple, 1939) señalan que el rendimiento puede variar entre el 50 y el 70% en una sección grande del radio del ciclón. Aunque la velocidad se aproxima a cero junto a la pared, la capa de separación es suficientemente delgada para que las mediciones muestren velocidades tangenciales relativamente altas en ese punto. La componente radial de la velocidad se dirige hacia el centro en casi todas las secciones del ciclón, excepto en el centro, en donde se dirige hacia afuera. Es probable que sobre la espiral doble se superponga una turbulencia doble similar a las que se encuentran en tuberías en forma de serpentín. No obstante, las mediciones realizadas en ciclones indican que las velocidades de doble turbulencia son pequeñas en comparación con la velocidad espiral. Análisis recientes sobre el comportamiento del flujo pueden encontrarse en Hoffman Powder Tech. (1993) y el de Trefz u Muschelknauntz chem. Eng. Tech. (1993).

- **Eficacia**

Existen muchos factores que afectan la eficacia de recolección de los ciclones. Se ha demostrado que la eficiencia del ciclón por lo general aumenta con los siguientes parámetros: (1) el tamaño y/o densidad, (2) la velocidad en el conducto de entrada, (3) la longitud del cuerpo del ciclón, (4) el número de revoluciones del gas en el ciclón, (5) la relación del diámetro del cuerpo del ciclón al diámetro de la salida del gas, (6) la carga de polvo, y (7) la uniformidad de la pared interior del ciclón.

La eficiencia del ciclón disminuye con aumentos en los siguientes parámetros: (1) la viscosidad del gas, (2) el diámetro del cuerpo del ciclón, (3) el diámetro de la salida del gas, (4) la superficie del conducto de entrada del gas, y (5) la densidad del gas. Otra causa común de la falta de efectividad de un ciclón es la fuga de aire hacia la salida del polvo. En específico, esto disminuirá la eficiencia para las partículas finas.

Se han desarrollado varios métodos para estimar la eficiencia de un ciclón. La mayoría de las teorías ciclónicas utilizan un término para el tamaño de las partículas,

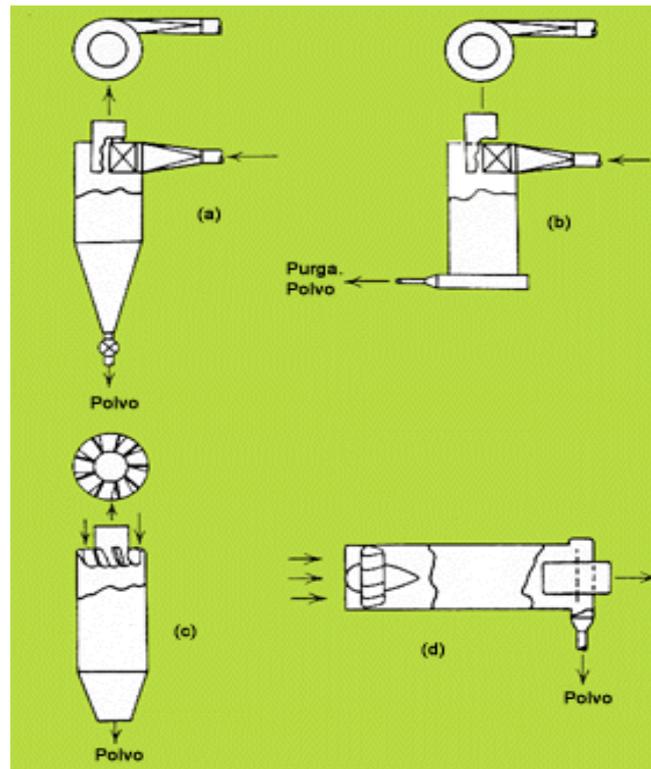
llamado el “tamaño de corte de las partículas”, que define el tamaño de las partículas para una eficiencia de recolección específica. Las partículas mayores que el tamaño de corte serán recolectadas con una eficiencia mayor que la especificada, y las partículas más pequeñas serán recolectadas con menor eficiencia. El tamaño de corte de las partículas generalmente corresponde al 50% de la eficiencia de recolección y se denomina " d_{50} ." Otro parámetro ciclónico importante para designar el tamaño es el “tamaño crítico de las partículas”. Las partículas de este tamaño y mayores son capturadas con el 100 % de eficiencia.

Lapple desarrolló un modelo relativamente sencillo para predecir la eficiencia de un ciclón que fue derivado de la teoría del movimiento de las partículas y requiere una suposición sobre el número de revoluciones que el gas efectúa dentro del ciclón. Leith and Licht desarrollaron una teoría de eficiencia que estaba basada en una solución aproximada a las ecuaciones para el movimiento teórico de las partículas usando la suposición de turbulencia dentro del ciclón. Más recientemente, Iozia y Leith desarrollaron una teoría de eficiencia ciclónica basada en el movimiento teórico de las partículas que usa coeficientes derivados empíricamente. Se demostró que la teoría de Iozia y Leith predice la eficiencia ciclónica mejor que las teorías de Lapple, y Leith y Licht.

- **Clasificación**

Los separadores ciclónicos son clasificados por lo general en cuatro tipos, basándose en la manera que la corriente de gas es introducida y el polvo recolectado es descargado.

En la siguiente figura se pueden observar los distintos tipos de ciclones:



- Entrada tangencial, descarga axial (a)
- Entrada tangencial, descarga periférica (b)
- Entrada axial, descarga axial (c)
- Entrada axial, descarga periférica (d)

El primero y tercer tipo son los ciclones usados más comúnmente. Los ciclones pueden ser diseñados para muchas aplicaciones, y son categorizados típicamente como de alta eficiencia, convencionales, o de alto rendimiento. Los ciclones de alta eficiencia tienen más probabilidad de experimentar las caídas de presión más altas de los tres tipos de ciclones; los ciclones de alto rendimiento pueden tratar grandes volúmenes de gas con una baja caída de presión. Cada uno de estos tres tipos de ciclones tiene el mismo diseño básico. Se logran diversos niveles de eficiencia de recolección y operación variando las dimensiones estándares del ciclón.

- **Caída de presión**

La caída de presión en un ciclón está relacionada con un conjunto de cinco pérdidas de flujo asociadas al ciclón: contracción en la entrada, aceleración de las partículas, fricción en el cilindro, flujo de gas invertido y contracción de salida.

La caída de presión total es la contribución de los anteriores cinco términos de caída de presión. Sin embargo, la presión real observada tiene una relación directa con el contenido de sólidos. La caída de presión es alta cuando el gas está libre de sólidos y disminuye cuando la carga de sólidos aumenta.

La caída de presión en el ciclón puede ser estimada a partir de un número de ecuaciones que se basan en datos tanto teóricos como experimentales.

Para vencer la pérdida de carga existente se recurre a un ventilador o soplante. Existen dos posibilidades de colocación del ventilador: bien en impulsión o bien en aspiración, colocándolo antes del ciclón en la primera opción o bien tras el ciclón en la segunda opción.

- **Factores de diseño**

Los ciclones se diseñan de forma que satisfagan ciertas limitaciones para la caída de presión. Para instalaciones que trabajan a presión atmosférica o cercana, y que son las más usuales, la limitación de la soplante dictamina, casi siempre, una caída de presión máxima permitida que corresponde a una velocidad de entrada al ciclón de entre 8 y 30 m/s. Por consiguiente los ciclones se suelen diseñar para una velocidad de entrada de unos 20 m/s, aunque no es necesario ajustarse estrictamente a este valor.

En la separación de polvos, la eficiencia de recolección puede cambiar solo en una cantidad relativamente pequeña mediante variación en las condiciones de operación.

El factor de diseño inicial que se suele utilizar para determinar la eficiencia de recolección es el diámetro del ciclón; una unidad de diámetro más pequeño que funcione con la misma caída de presión alcanzará una eficiencia más alta. Sin embargo los ciclones de diámetro pequeño requieren varias unidades dispuestas en paralelo para lograr una capacidad de tratamiento específica. En estos casos, cada uno de los ciclones descargan el polvo en una tolva receptora común.

El diseño final implica el llegar a un compromiso entre la eficacia de recolección y la complejidad del equipo. Se acostumbra a diseñar un ciclón simple para una capacidad específica, recurriendo a varias unidades en paralelo sólo cuando la eficacia de recolección prevista es insuficiente para una sola unidad.

Cuando se reduce el diámetro de la salida del gas aumenta la eficiencia de recolección y la caída de presión. Para establecer y obtener una buena salida del gas, éste debe entrar con un flujo ciclónico asociado con la desembocadura de salida. Si el diámetro de la desembocadura se reduce, la extensión del vórtice de salida generado aumenta en compensación. De esta manera, cuando el área de la desembocadura de salida es menor que la de entrada, la longitud del ciclón debe aumentarse.

Un ciclón demasiado corto provoca una mayor erosión de la zona cónica y un arrastre de sólidos a la salida.

La entrada suele ser rectangular y en algunas ocasiones circular. En cualquiera de los casos, la proyección del flujo nunca debe interferir con el de salida. Si de antemano se sabe que la carga es de un sólido denso, el diámetro del recipiente debería incrementarse ligeramente.

Por lo general, la eficacia de recolección se incrementa al aumentar la carga del gas. Sin embargo, si el polvo de entrada está floculado, el incremento de la velocidad del gas puede producir una desagregación del sólido en el interior del ciclón, por lo que la eficacia sería la misma o en realidad menor. Además, las variaciones en las proporciones de un diseño que lleven a una eficacia de recolección más elevada, para polvos dispersados, puede ser perjudicial para polvos floculados.

Kalen y Zenz (1974) establecen que la eficacia de recolección aumenta al incrementar la velocidad de entrada de gas hasta un valor en que la velocidad tangencial es mínima para que el polvo pueda ser arrastrado o no se deposite. Koch y Licht (1977) determinaron que para ciclones del tipo estándar, esta velocidad de ahorro es consistente con la velocidad de entrada al ciclón en el intervalo de 15 a 27 m/s.

Las ventajas de los ciclones son principalmente:

- La inversión inicial es baja.
- Carece de partes móviles, con lo que los requerimientos de mantenimiento y los costos de operación son bajos.

- La caída de presión es relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas recuperadas.
- Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción..
- La recolección y disposición de polvo tiene lugar en seco.
- Los requisitos espaciales son relativamente pequeños.

Las desventajas de los ciclones incluyen las siguientes:

- Las eficiencias son bajas para partículas muy pequeñas
- No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.
- Las unidades de alta eficiencia pueden presentar caídas altas de presión.

5.6.2.3 SEPARADORES DE IMPACTO

A los separadores de impacto también se les conoce como separadores por momento, por colisión, cámaras con deflectores y cámaras de golpe.

Los separadores por momento o de impacto utilizan ambas la gravedad y la inercia para separar partículas de la corriente de gas. La separación es lograda al forzar el flujo de gas, a cambiar marcadamente la dirección dentro de una cámara de sedimentación por gravedad por medio del uso de deflectores colocados estratégicamente. Típicamente, el gas primero fluye hacia abajo y después es forzado por los deflectores para fluir hacia arriba repentinamente. El momento inercial y la gravedad actúan sobre las partículas en una dirección hacia abajo, causando que las partículas mayores crucen las líneas de flujo del gas y se acumulen al fondo de la cámara.

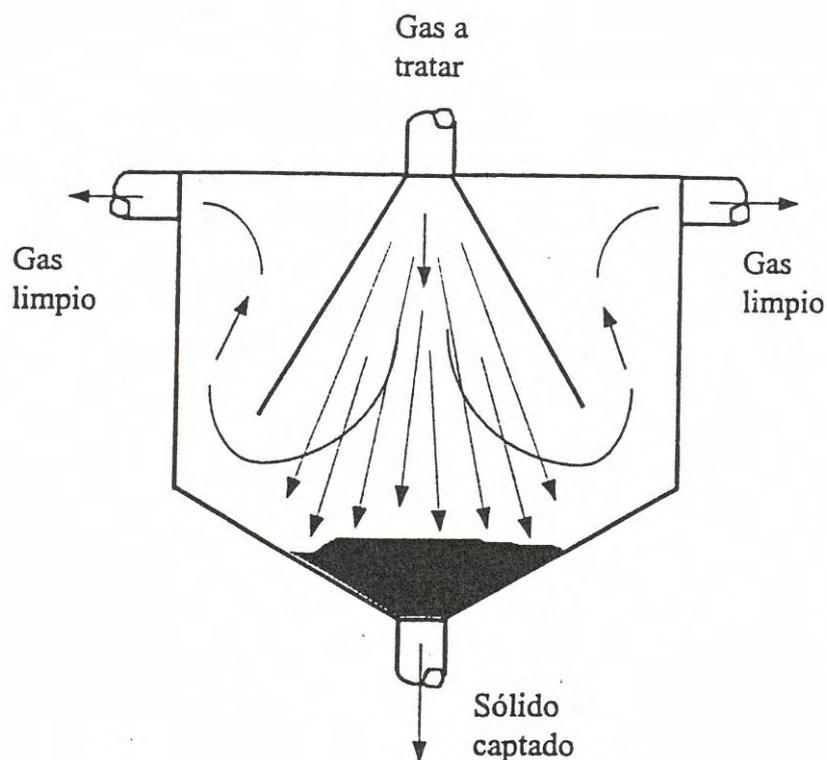
El diseño de los separadores por momento debe proporcionar suficiente volumen para permitir el asentamiento de los materiales separados de la corriente de gas con alta velocidad, así como materiales de construcción deben ser lo suficientemente duros para resistir demasiada abrasión. Al igual que en todos los recolectores mecánicos, el diseño debe incluir métodos de sellado de la descarga del polvo de las tolvas, para evitar la entrada de aire. Los métodos pueden incluir el uso de los cierres de aire rotatorios, válvulas de compuerta o algún otro dispositivo de sellado efectivo. La entrada de aire a

la tolva o a la coraza, resulta en cambios en la distribución del gas, interfiere con la descarga del polvo y puede causar condensación o corrosión. Debido a las altas velocidades utilizadas para separar las partículas de la corriente de gas y al impacto de éstas sobre la superficie que dirige al flujo de gas, los materiales de construcción deben tener alta resistencia a la abrasión (EPA,1982)

Los separadores por momento son capaces de recolectar partículas tan pequeñas como de 10 micras a baja eficiencia (10-20%). Estos dispositivos requieren menos espacio que las cámaras de gravedad, pero poseen caídas de presión más altas.

La eficiencia de recolección para los separadores por momento aumentará a medida que la velocidad del gas aumente. La caída de presión y los costos de operación correspondientes también aumentarán con la velocidad del gas, por lo tanto se debe escoger la velocidad óptima para balancear la eficiencia y los costos de operación.

A continuación se muestra un separador inercial o de impacto:



Los separadores de impacto comparten muchas ventajas con otros separadores mecánicos entre ellas:

- La inversión inicial es baja.
- Carecen de partes móviles, por lo que presenta pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación.
- Necesitan menos espacio que las cámaras de sedimentación.
- La caída de presión es relativamente baja comparada con la cantidad de partículas a remover.
- Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.
- La recolección y disposición tienen lugar en seco.

Los separadores por momento, también comparten las desventajas de otros recolectores mecánicos:

- Las eficiencias de recolección de partículas son relativamente bajas.
- No son adecuados para manejar materiales pegajosos o aglutinantes.
- Las caídas de presión son mayores que las producidas en cámaras de sedimentación.
- Debido a la caída de presión pueden los costos de operación pueden resultar mayores.

5.6.3 FILTROS TELA

Los filtros de tela son un medio popular de separar partículas de una corriente de gas debido a su eficiencia relativamente alta y su aplicabilidad a muchas situaciones.

Los filtros de tela pueden estar hechos de telas ya sea tejidas o afelpadas y pueden encontrarse en la forma de hojas, cartuchos, o bolsas, con un número de unidades de filtro de tela individuales albergados juntos en grupo. Las bolsas son hasta el momento el tipo mucho más común de filtro de tela, de ahí el uso del término “casas de bolsas” para describir a los filtros de tela en general.

Los mecanismos principales para la recolección de partículas de los filtros de tela son: el impacto de la inercia, la difusión por movimiento browniano, y la interceptación directa. Durante la filtración por tela, el gas polvoriento es aspirado a través de la tela por ventiladores de corriente forzada. La tela es responsable de parte de la filtración, pero actúa más significativamente como soporte para la capa de polvo que se acumula. La capa de polvo, también conocida como pasta de polvo, es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrónicas. Las telas tejidas dependen de las capacidades de filtración de la pasta de polvo mucho más que de las telas afelpadas.

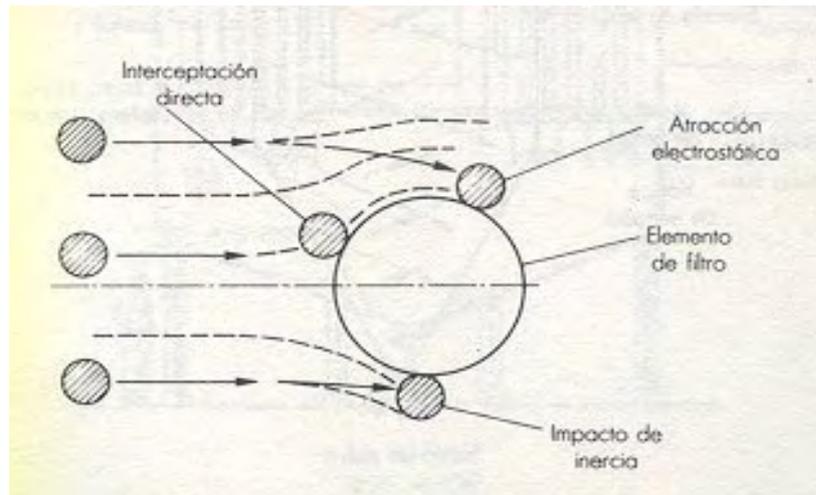
Los filtros de tela poseen algunas ventajas claves sobre otros tipos de dispositivos para la recolección de partículas. Junto con las altísimas eficiencias de recolección, también tienen la flexibilidad para tratar muchos tipos de polvos y un amplio rango de flujos volumétricos de gas. Los filtros de tela pueden ser operados con caídas de presión bajas.

Los filtros de tela también tienen algunas desventajas potenciales. En general, están limitados a filtrar corrientes secas. Además, las temperaturas altas y ciertas sustancias químicas pueden dañar ciertas telas. Los filtros de tela también tienen el potencial de incendio o explosión, y pueden requerir una gran superficie para su instalación. El diseño apropiado puede minimizar o eliminar estas desventajas.

- **Recolección de Partículas y Mecanismos de Penetración**

La captura de partículas durante la filtración por tela es debida principalmente a alguna combinación del impacto de la inercia, difusión e interceptación directa. La recolección también puede ocurrir debido a la sedimentación gravitatoria y la atracción electrostática, pero generalmente en un menor grado.

La siguiente figura muestra varios mecanismos de recolección de partículas.



El *impacto de la inercia* ocurre como resultado de un cambio en la velocidad entre un fluido, tal como el aire, y una partícula suspendida en el fluido. A medida que el fluido se acerca a un obstáculo se acelerará y cambiará de dirección para pasar alrededor del objeto. Dependiendo de la masa de la partícula, podría no ser capaz de adaptarse a la aceleración del fluido y se desarrollará una diferencia en velocidad entre la partícula y la corriente de fluido. La inercia mantendrá el movimiento hacia adelante de la partícula hacia el objeto, pero el fluido tratará de arrastrar la partícula alrededor del obstáculo. El movimiento resultante de la partícula es una combinación de estas fuerzas de arrastre del fluido y de inercia. Esto resulta el impacto en el caso de las partículas donde domina la inercia, y el paso libre para aquellas partículas abrumadas por el arrastre del fluido.

La *recolección por difusión* ocurre como resultado de tanto el movimiento del fluido y el movimiento (al azar) browniano de las partículas. Los efectos de la recolección difusional son más significativos para las partículas menores de $1\ \mu\text{m}$ de diámetro.

Otro mecanismo de recolección, la interceptación directa, ocurre cuando una partícula se encuentra dentro de un radio del medio de recolección, un obstáculo. El camino que esta partícula tome puede ser el resultado de inercia, difusión, o movimiento de fluidos.

La *sedimentación gravitacional*, o sea la caída de partículas individuales o aglomeradas, es un mecanismo de recolección menor para las operaciones de filtro de tela.

La *carga electrostática* puede jugar un papel importante en la recolección y la aglomeración de las partículas en algunas situaciones. Con el objeto de maximizar el efecto electrostático, las características de las partículas deben ser entendidas antes de seleccionar la tela.

Debido a la física de cada mecanismo de recolección, el tamaño de las partículas determinará la predominancia de un mecanismo de recolección sobre otro. Por lo general, a medida que el tamaño de las partículas aumenta, la predominancia del mecanismo de recolección por difusión aumenta, suponiendo que los otros parámetros permanezcan constantes. A medida que el tamaño de las partículas aumenta, el mecanismo de recolección por el impacto de la gravedad muy probablemente aumentará. La combinación de estos dos efectos principales de recolección contribuye a una eficiencia mínima a un tamaño de partículas determinado.

La tela en sí también es un factor en la recolección y la penetración de las partículas. En las etapas de filtración iniciales en donde la tela generalmente se encuentra expuesta, la tela es responsable de cierta filtración. Sin embargo, con mayor relevancia, ésta actúa como un soporte para la capa de polvo que se acumula durante el curso de la operación del filtro de tela. El polvo o la pasta del filtro es un filtro altamente eficiente, aún para partículas sub-micrométricas. En términos del tipo de tela, las telas tejidas dependen de las capacidades de filtración de la pasta de polvo mucho más que las telas afelpadas.

La estructura de la tela, particularmente para las telas tejidas, también es muy importante para la recolección de partículas. Los poros grandes y una superficie con un gran espacio libre dentro de la tela contribuyen a una eliminación baja de las partículas. La captura de partículas en las telas tejidas es mejorada por las fibras pequeñas (conocidas como fabriles) las cuales se proyectan dentro de los poros.

El polvo se puede depositar sobre los fabriles y hacer puente atravesando los poros, lo cual permite que se acumule una pasta en el filtro y aumente la eficiencia de recolección. Las telas pueden tener tamaños de poro similares y características de recolección muy diferentes debido al número de fabriles que poseen.

Las propiedades electrostáticas de las fibras también son críticas. Las diversas fibras tienen diferentes características electrostáticas y de superficie. La intensidad de la carga electrostática de la tela tiene un efecto particular sobre la eficiencia de recolección de partículas y es una función de las propiedades de la tela y de la aspereza de la superficie.

La relación gas a tela (G/T) es una consideración de diseño importante y tiene un efecto principal en los mecanismos de recolección de partículas. Esta es una relación de la velocidad de flujo volumétrico del gas por unidad de superficie filtrante.

En general, a medida que esta velocidad aumenta, la eficiencia de la recolección por impacto de la gravedad aumenta y la eficiencia de recolección difusional disminuye. Las velocidades de superficie más altas permiten el uso de filtro de telas más pequeños, siempre que todo lo demás permanezca constante. Sin embargo, a medida que la velocidad aumenta, hay un aumento de caída de presión, un aumento de la penetración de las partículas, una mayor cobertura de la tela, una limpieza más frecuente, y una vida reducida de las bolsas.

La mayoría de las partículas sub-micrométricas penetran la tela pasando directamente a través de los poros o debido a una fuga. Las fugas ocurren cuando las partículas emigran a través de la pasta o masa espesa del filtro y de la tela mediante la captura y el re-encauzamiento continuos. Las fugas son más comunes con las partículas lisas y con la ausencia de fuerzas electrostáticas significantes.

5.6.3.1 TIPOS DE FILTROS DE TELA

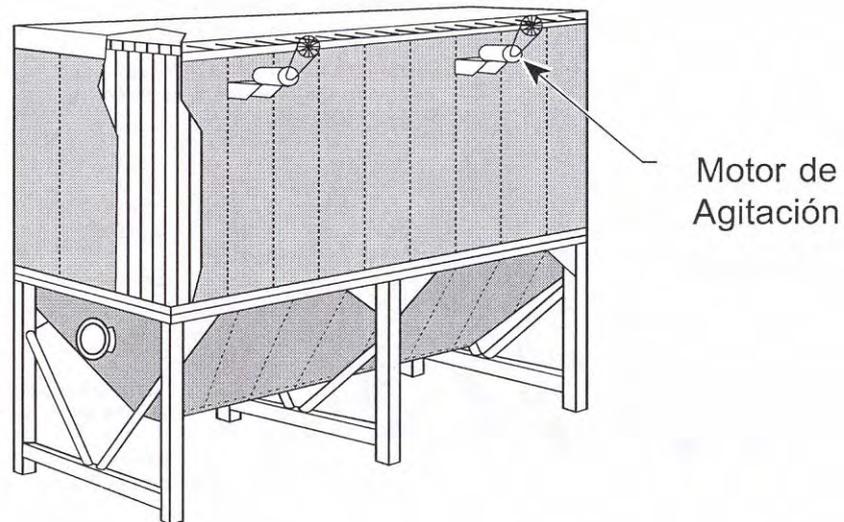
Existe una amplia variedad de materiales que pueden ser tejidos o afelpados para producir telas efectivas, y hay muchos tamaños y arreglos diferentes de bolsas que pueden ser utilizados. Aunque la presencia de una pasta de polvo aumenta la eficiencia de recolección a medida que la pasta engruesa, también restringe el flujo del gas. Esto aumenta la caída de presión y los requisitos de energía. Para operar un filtro de tela continuamente, el polvo debe ser limpiado de los filtros y removido del filtro de tela de manera periódica. Los filtros de telas se clasifican con frecuencia según su método de limpieza. Los tres tipos principales de mecanismos de limpieza de los filtros de tela son: por agitación, por aire a la inversa y por propulsión a chorro.

- **Filtros de Tela Limpiados por Agitación**

La agitación ha sido un método popular de limpieza durante muchos años debido a su sencillez tanto como su efectividad. Los filtros de tela lavados por agitador que utilizan telas tejidas escogidas especialmente son más efectivos que otros tipos de filtros

de tela para muchas aplicaciones. Para unidades pequeñas, la agitación puede ser lograda manualmente. Los filtros de tela grandes requieren agitación mecánica. Para ambos casos, la operación es básicamente la misma. En general, el gas polvoriento entra por un tubo de entrada al filtro de tela lavado por agitación y las partículas muy grandes son removidas de la corriente cuando se estrellan contra la placa de traba en el conducto de salida y caen dentro de la tolva. El gas cargado de partículas es atraído desde abajo de una placa de celda en el piso hacia dentro de las bolsas de filtro. El gas prosigue desde el interior de las bolsas hacia fuera y a través del tubo de salida. Las partículas son recolectadas sobre a superficie interior de las bolsas y se acumula una pasta en el filtro.

Una unidad de filtro de tela limpiada por agitación mecánica se muestra a continuación:



En las unidades de agitación mecánica, las partes superiores de las bolsas se encuentran unidas a una barra agitadora. Cuando las bolsas se limpian, la barra se mueve rápidamente, generalmente en una dirección horizontal. Este movimiento flexiona la tela, causando que la pasta de polvo se resquebre y caiga lejos de la tela y dentro de la tolva.

La cantidad de polvo que se remueve durante la limpieza puede ser controlada regulando la frecuencia, la amplitud, y la duración de los ciclos de agitación. En algunos diseños, el flujo invertido de aire se usa para mejorar la remoción de polvo.

El flujo del gas a través de las bolsas debe ser interrumpido durante el ciclo de limpieza para permitir que la pasta del filtro sea liberada de la tela y para prevenir que el polvo se vaya moviendo a lo largo de la bolsa durante la agitación. Con el objeto de lograr esto, los filtros de tela limpiados por agitación se diseñan con frecuencia con varios compartimientos separados. Cada compartimiento después puede ser aislado del flujo de gas y limpiado mientras los otros compartimientos continúan a filtrar la corriente.

Los filtros de tela limpiados por agitación son muy flexibles en su diseño, permitiendo diferentes tipos de telas, arreglos de bolsas y tamaños de filtros de tela. Esto permite que los filtros de tela limpiados por agitación tengan muchas aplicaciones, con sólo algunas limitaciones. Los filtros de tela que se limpian con agitador necesitan un polvo que se desprenda de la tela con bastante facilidad, sino la tela se dañaría por el exceso de agitación. Las telas de vidrio son particularmente susceptibles a la degradación por agitación. La mayoría de las otras telas para filtro son menos quebradizas que el vidrio y tienen vidas de servicio más largas en aplicaciones de limpieza por agitación.

El mecanismo de agitación en sí también debe ser bien diseñado y mantenido o se desgastará y perderá efectividad. A medida que el mecanismo de agitación pierde efectividad, el operador con frecuencia aumentará la intensidad de la agitación con el objeto de limpiar las bolsas satisfactoriamente. La continuación de esta práctica puede destruir el mecanismo de agitación eventualmente.

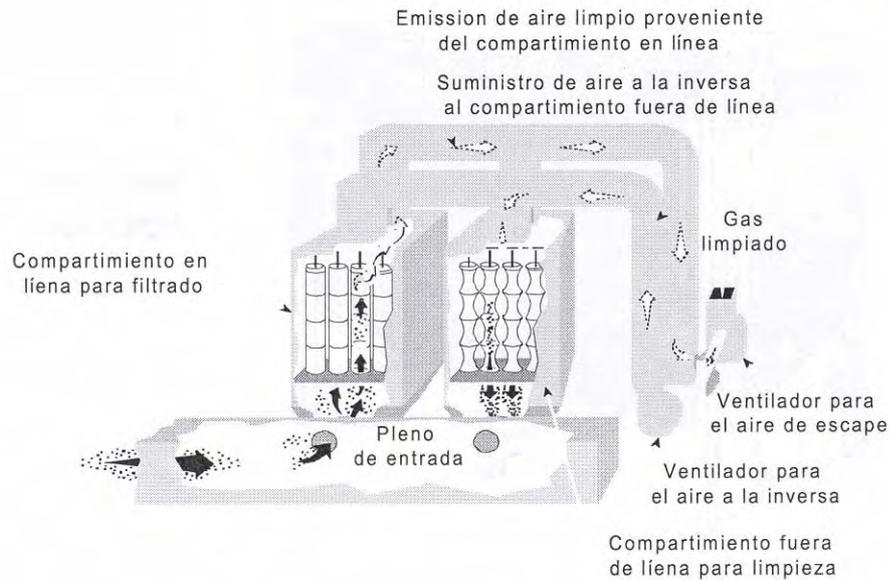
- **Filtro de Tela Limpiado por Aire Invertido**

El limpiado por aire invertido es otro método popular de limpieza de filtros de tela que ha sido utilizado extensivamente y mejorado a través de los años. Es un mecanismo de limpieza más suave pero a veces menos efectivo que la agitación mecánica. La mayoría de los filtros de tela con aire invertido operan de una manera parecida a los filtros de tela limpiados por agitación. Las bolsas están abiertas en el fondo, cerradas en la parte superior y el gas fluye desde el interior hacia el exterior de las bolsas mientras el polvo es capturado en el interior. Sin embargo, algunos diseños de

aire invertido recolectan polvo sobre el exterior de las bolsas. En cualquiera de estos diseños, el lavado por aire invertido se realiza forzando aire limpio a través de los filtros en la dirección opuesta al flujo de gas polvoriento. El cambio en dirección del flujo de gas causa que la bolsa se pliegue y rompa la pasta del filtro. En la recolección de las pastas interiores, se permite que las bolsas se plieguen hasta cierto punto durante la limpieza por aire invertido. Por lo general se evita que las bolsas se desplomen por completo mediante algún tipo de soporte, tal como anillos cosidos dentro de las bolsas. El soporte permite que la pasta de polvo se desprenda de las bolsas y caiga dentro de la tolva. El desprendimiento de la pasta también es auxiliado por el flujo invertido del gas. Debido a que las telas afelpadas retienen el polvo mejor que las telas tejidas y por lo tanto, son más difíciles de limpiar, las felpas por lo general no son usadas en los sistemas de aire invertido.

Existen varios métodos de revertir el flujo a través de los filtros. Tal como con los filtros de tela limpiados con agitador, la estrategia más común es colocar compartimientos dentro del filtro de tela de manera que cada compartimiento pueda ser aislado y limpiado por separado mientras que los otros compartimientos continúan a tratar el gas polvoriento. Un método para proporcionar el aire de flujo invertido es mediante el uso de un ventilador secundario o de gas limpiado proveniente de los otros compartimientos. Un segundo método es un mecanismo de aire errante. En este diseño, el polvo se recolecta sobre el exterior de las bolsas. Las salidas múltiples de aire giran alrededor del filtro de tela y proporcionan aire invertido a cada bolsa, permitiendo que la mayoría de las bolsas operen mientras unas cuantas bolsas están siendo lavadas.

A continuación se muestra un filtro tejido limpiado por aire invertido:

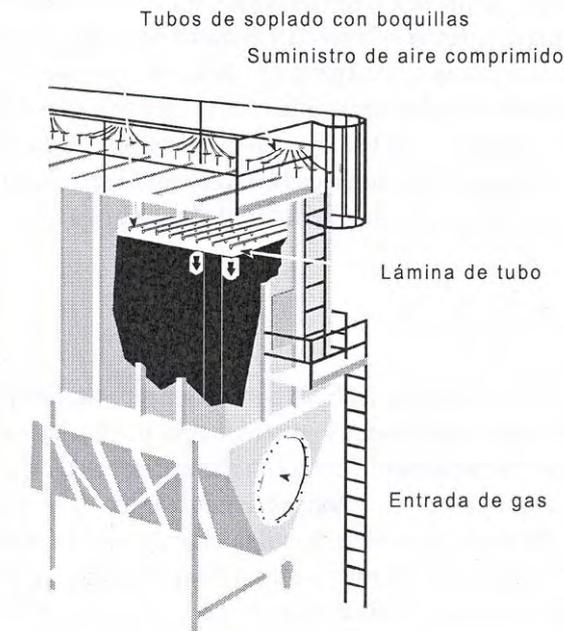


La limpieza por aire invertido por sí sola se usa sólo en casos en donde el polvo se libera de la tela fácilmente. En muchos casos, el aire invertido se usa en conjunto con la agitación o la pulsación. Un descubrimiento relativamente reciente ha sido el uso de trombas sónicas para facilitar la limpieza. Durante la limpieza, las explosiones sónicas provenientes de las trombas montadas en el filtro de tela ayudan a la remoción del polvo de las bolsas. Esta es una mejoría importante en la filtración.

- **Filtro de Tela Limpiado por Chorro Pulsante o Propulsión a Chorro**

La limpieza de los filtros de tela por medio del pulsorreactor es relativamente nueva en comparación a otros tipos de filtros de tela, ya que sólo han sido usados durante los últimos 30 años. Este método de limpieza ha ido ganando en popularidad consistentemente porque puede tratar cargas altas de polvo, operar a una caída de presión constante, y ocupar menos espacio que otros tipos de filtros de tela.

Los filtros de tela limpiados por pulsorreactor sólo pueden operar como dispositivos externos de recolección de pastas. Un filtro de tela limpiado por propulsión a chorro se muestra en la figura siguiente:



Las bolsas son cerradas en el fondo, abiertas en la parte superior, y soportadas por retenes interiores llamados jaulas. El gas cargado de partículas fluye hacia dentro de la bolsa con el uso frecuente de difusores para prevenir que las partículas de tamaño extraordinario dañen las bolsas. El gas fluye desde el exterior hacia el interior de las bolsas, y después hacia afuera por el escape de gas. Las partículas son recolectadas sobre el exterior de las bolsas y caen dentro de una tolva debajo del filtro de tela.

Durante la limpieza por propulsión se inyecta un torrente corto (de 0.03 a 0.1 segundos) de aire a alta presión dentro de las bolsas. El pulso es soplado a través de una boquilla tipo Venturi en la parte superior de las bolsas y establece una onda de choque que continúa adelante y hacia el fondo de la bolsa. La onda flexiona la tela, alejándola de la jaula, y enseguida la devuelve con fuerza desprendiendo la pasta de polvo. El ciclo limpiador es regulado por un cronómetro remoto conectado a una válvula solenoide. El torrente de aire es controlado por la válvula solenoide y es liberado hacia los tubos de soplado que tienen boquillas localizadas sobre las bolsas. Las bolsas generalmente son limpiadas fila por fila.

Existen varios atributos únicos a la limpieza por pulsorreactor. Debido a que el pulso limpiador es muy breve, el flujo de gas polvoriento no tiene que ser interrumpido durante la limpieza. Las otras bolsas continúan filtrando, asumiendo trabajo extra debido a las bolsas que están siendo limpiadas. En general, no hay cambio en la caída de presión o rendimiento del filtro de tela como resultado de la limpieza por pulsorreactor.

Esto permite que los filtros de tela con pulsorreactor operen en base continua con las válvulas solenoides como las únicas partes movibles significantes. La limpieza por pulsorreactor también es más intensa y ocurre con mayor frecuencia que los otros métodos de limpieza de filtros de tela. Esta limpieza intensa desprende casi toda la pasta de polvo cada vez que la bolsa es pulsada.

Como resultado, los filtros de tela con pulsorreactor no dependen de una pasta de polvo para proporcionar la filtración. Las telas afelpadas son usadas en los filtros de tela de pulsorreactor porque no requieren una pasta de polvo para lograr altas eficiencias de recolección. Se ha descubierto que las telas tejidas usadas con los filtros de tela de pulsorreactor dejan pasar una gran cantidad de polvo después de ser limpiados.

Puesto que las bolsas limpiadas por pulsorreactor no necesitan ser aisladas para su limpieza, los filtros de tela por pulsorreactor no necesitan compartimientos adicionales para mantener una filtración adecuada durante la limpieza. Además, debido a la naturaleza intensa y frecuente de la limpieza, pueden tratar velocidades de flujo de gas más altas con una mayor carga de partículas. En consecuencia, los filtros de tela limpiados por pulsorreactor pueden ser más pequeños que otros tipos de filtros de tela en el tratamiento de la misma cantidad de gas y polvo, permitiendo que se puedan alcanzar las relaciones más altas de gas a tela.

Una desventaja de las unidades de pulsorreactor que usan velocidades de gas muy altas es que el polvo proveniente de las bolsas limpiadas puede ser conducido inmediatamente a las otras bolsas. Si esto ocurre, sólo un poco del polvo cae dentro de la tolva y las capas de polvo sobre las bolsas se vuelven demasiado gruesas. Para prevenir esto, los filtros de tela de pulsorreactor pueden ser diseñados con compartimientos separados que pueden ser aislados para su limpieza.

5.6.3.2 CARACTERISTICAS DE LA TELA

La selección de la tela es un aspecto muy importante de la operación del filtro de tela. Existen muchas fibras que pueden ser usadas efectivamente como filtros, con propiedades diversas que determinan sus aplicaciones apropiadas. En general, las fibras pueden ser convertidas en telas tejidas o afelpadas. El método de limpieza afecta la selección de la fibra, ya que algunas fibras se desgastan rápidamente y pierden su efectividad como resultado de la flexión o la agitación frecuentes. El tipo de tela

también debe conformarse al método de limpieza, y a las características de la corriente y de las partículas.

Las telas tejidas son preferidas para los filtros de tela con agitador y de aire invertido. Las telas afelpadas son recomendadas para los filtros de tela con propulsión a chorro. El uso de la felpa se limita por lo general a los estilos de recolección de polvo en superficies externas.

Las características principales de la corriente de gas a considerar cuando se seleccionan las telas son la temperatura y la composición química. La mayoría de las telas son degradadas por las temperaturas altas. Entre la variedad de telas disponibles, existe un amplio rango de temperaturas máximas de operación que pueden ser igualadas al rango de temperaturas en las diferentes aplicaciones. Algunas telas también son fácilmente degradadas por ácidos, mientras que otras son altamente resistentes a los ácidos. Los álcalis, oxidantes y solventes son otros tipos de sustancias químicas que pueden dañar a los materiales para filtro. Las fibras nuevas, tales como el Ryton®, el Gore-Tex® y el Chem-Pro®, están continuamente en desarrollo para aplicaciones de alta temperatura y otras aplicaciones exigentes.

Las características importantes de las partículas a considerar en la selección de la tela son el tamaño, el potencial de abrasión, y el potencial de liberación. Los tamaños promedio de las partículas pueden ser un factor en la selección del tipo de tejido o felpa que se seleccione para una aplicación particular. Con polvos muy abrasivos, se debe tomar la precaución de asegurarse que la tela no se desgastará demasiado rápido. Los polvos húmedos o pegajosos requieren una tela que liberará la pasta de polvo con facilidad, o que esté recubierta con algún tipo de capa lubricante.

Se han desarrollado varios acabados y texturas diferentes para las telas de fibra de vidrio para aumentar su uso en la filtración. También existen muchos recubrimientos y tratamientos químicos disponibles para proporcionar lubricación y otras propiedades a las fibras y de este modo mejorar su rendimiento.

5.6.3.3 EFICACIA DE RECOLECCION

Los filtros de tela bien diseñados y mantenidos que son operados correctamente deben recolectar por encima del 99 % de las partículas que varían en tamaño desde sub-micras a cientos de sub-micras. Hay varios factores que pueden afectar la eficacia de

recolección de los filtros de tela. Estos factores incluyen la velocidad de filtración del gas, las características de la tela, y el mecanismo de limpieza. En general, la eficacia de recolección aumenta con el aumento de la velocidad de filtración y del tamaño de las partículas. Otras características de las partículas, tanto como el tipo de método de limpieza, son variables claves en el diseño de un filtro de tela. Un filtro de tela diseñado incorrectamente no funcionará tan bien como es posible y con cierta frecuencia impactará la eficacia.

Para una determinada combinación de diseño de filtro y de polvo, la concentración efluente de partículas proveniente de un filtro de tela es casi constante mientras que la eficacia en total de un filtro de tela varía con mayor probabilidad de acuerdo a la carga del particulado. Por esta razón, los filtros de tela pueden ser considerados como dispositivos de salida constante que como dispositivos de eficiencia constante. La concentración constante de efluente se logra porque a cualquier tiempo determinado una parte del filtro de tela está siendo limpiado. A diferencia de los ciclones, los absorbedores, y los precipitadores electrostáticos, los filtros de tela nunca alcanzan verdaderamente un estado de equilibrio en la recolección de partículas. Como resultado de los mecanismos de limpieza usados en los filtros de tela, la eficacia de recolección a un tiempo determinado siempre está cambiando. Cada ciclo de limpieza remueve al menos algo de la pasta del filtro y afloja las partículas que permanecen sobre el filtro. Cuando la filtración continúa, la capacidad de filtrado ha sido reducida debido a la pasta de filtro perdida y las partículas sueltas son empujadas a través del filtro por el flujo de un gas. Esto reduce la eficacia de recolección. A medida que las partículas son capturadas la eficiencia aumenta hasta el siguiente ciclo de limpieza. Las eficacias promedio para los filtros de tela son generalmente determinadas por pruebas que cubren un número de ciclos de limpieza a una carga de entrada constante.

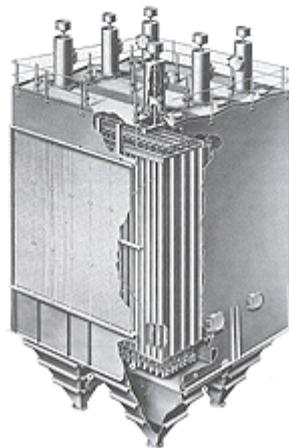
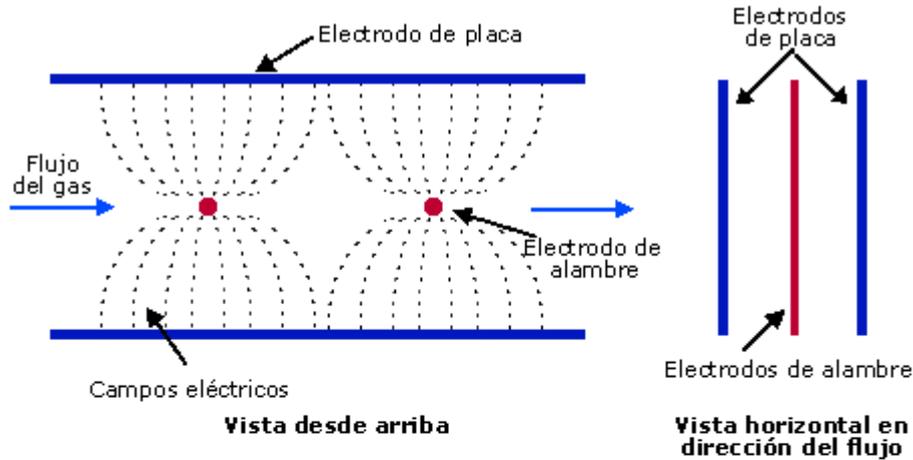
5.6.4 PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS (PES)

La recolección de partículas mediante la precipitación electrostática involucra la ionización de la corriente pasando a través del PE, la migración, y la recolección de partículas sobre superficies cargadas opuestamente, y la remoción de partículas de las superficies recolectoras. En los PES en seco el particulado es removido por *rappers* (martilleo o golpeteo), los cuales vibran la superficie de recolección. Los PES en húmedo usan agua para lavar las partículas de las placas.

Las partes fundamentales en un precipitador electrostático son:

- *El cuerpo:* realizado en chapa de acero u hormigón armado, de dimensiones según las características del polvo y el caudal del aire circulante.
- *Distribuidores:* la velocidad del aire a través del precipitador debe ser entre 0,5 y 2,5 m/s, y el flujo lo más laminar posible, por lo que suelen colocarse a la entrada platos perforados en serie que actúan de distribuidores.
- *Electrodos de descarga:* dónde las partículas se cargan, por lo que deben poseer en su proximidad un campo eléctrico de gran intensidad, y por lo tanto deben ser lo más finos posibles (pequeño diámetro). Pueden poseer diversas formas, cilíndricos, cuadrados, dentados, etc.
- *Electrodos receptores:* suelen ser de dos tipos, de plato o de tubo. Los primeros poseen la ventaja de poder filtrar mayor cantidad de flujos de aire, los platos pueden ser de varias formas y colocados en zig-zag, en V, etc. Los electrodos de tubos son más empleados para retener nieblas líquidas, siendo muy frecuentes en la captación de nieblas ácidas.
- *Sistema de eliminación de partículas:* cada cierto tiempo es necesario eliminar las partículas depositadas para disminuir su espesor sobre los electrodos receptores, por lo que poseen sistemas de limpieza.
- *Tolva de recogida de polvo:* se encuentra en la parte inferior del electro filtro, permitiendo la evacuación del polvo recogido por el filtro.
- *Alimentación de alta tensión:* la fuente de alimentación está compuesta por un transformador de alta tensión, un rectificador y un sistema de control, que sea capaz de suministrar una diferencia de potencial de entre 30 y 100 KV. Cuando el gas es aire, caso más común, la tensión de alimentación debe estar comprendida entre 32 y 43 KV.

A continuación se muestra el esquema de un precipitador electrostático:



Los precipitadores electrostáticos tienen varias ventajas al compararlos con otros dispositivos de control. Son recolectores muy eficientes, aún para las partículas pequeñas. Debido a que las fuerzas de recolección actúan sólo sobre las partículas, los PES pueden tratar grandes volúmenes de gases con bajas caídas de presión. Pueden recolectar materiales secos, humos y neblinas. Los precipitadores electrostáticos también pueden operar sobre un amplio rango de temperaturas y generalmente poseen bajos costos de operación. Las posibles desventajas de los PES incluyen los altos costos de capital, los requisitos de espacios grandes, la inflexibilidad respecto a las condiciones operando, y la dificultad en controlar las partículas con alta resistividad. Las desventajas de los PES pueden ser controladas con un diseño apropiado.

La recolección de partículas durante la precipitación electrostática es el resultado final de varios pasos. Estos pasos incluyen el establecimiento de un campo eléctrico,

generación de la corona, ionización de la corriente de gas, cargando partículas, y la migración hacia el electrodo recolector.

- **Campo Eléctrico**

El campo eléctrico juega un papel importante en el proceso de precipitación porque provoca la base para la generación de la corona requerida para cargar y las condiciones necesarias para establecer una fuerza para separar el particulado de las corrientes de gas. Se forma un campo eléctrico con la aplicación de alto voltaje a los electrodos de descarga del PE; la fuerza de este campo eléctrico es un factor crítico en el rendimiento de los PES.

El campo eléctrico se desarrolla en el espacio inter-electródico de un PE y sirve a un propósito triple. Primero, el alto campo eléctrico alrededor del electrodo de descarga causa la generación de iones cargantes en una corona eléctrica; segundo, el campo proporciona la fuerza motriz que impulsa a estos electrones a chocar con las partículas e impartirles su carga; y tercero, proporciona la fuerza que impulsa el particulado cargado hacia el electrodo recolector para su remoción de la corriente de gas efluente.

El campo eléctrico en un PE es el resultado de tres factores: el componente electrostático resultando de la aplicación de un voltaje en un sistema de electrodos dual, el componente que resulta de la carga espacial de los iones y electrones libres, y el componente resultando del particulado cargado. Cada uno de estos factores puede asumir un papel dominante en la determinación del campo en una serie determinada de circunstancias. Por ejemplo, el campo eléctrico en los primeros metros de la sección de entrada de un PE que recolecta particulado proveniente de una corriente de gas altamente cargada de particulados puede ser dominado por la carga espacial de las partículas; mientras el campo en la sección de salida de un PE altamente eficiente es por lo general dominado por la carga espacial iónica.

La fuerza o magnitud del campo eléctrico es una indicación de la efectividad de un PE. Dos factores son críticos para la magnitud alcanzable del campo eléctrico en un PE. Primeramente, la alineación mecánica de la unidad es importante. Si ocurre un desalineamiento en una región localizada que resulta en una aproximación cercana de la corona y los electrodos recolectores, el voltaje de chispa para esa sección eléctrica completa será limitada. El segundo es la resistividad del particulado recolectado, la cual

puede limitar la densidad de la corriente operante y el voltaje aplicado que resulta en un campo eléctrico reducido.

- **Generación de Corona**

La corona es la región eléctricamente activa de la corriente de gas, formada por el campo eléctrico, donde los electrones son desprendidos de las moléculas neutras del gas dejando iones positivos. Los iones positivos son impulsados en una dirección y los electrones libres en otra. Las condiciones necesarias para la formación de la corona incluyen la presencia de un campo eléctrico con una magnitud suficiente para acelerar un electrón libre a una energía requerida para ionizar a una molécula neutra de gas al impacto, y a una fuente de electrones a actuar como electrones iniciadores para el proceso.

Los detalles de la generación de un campo eléctrico fueron discutidos arriba. En términos de las fuentes de electrones, siempre existe una fuente de electrones libres disponible de la ionización de las moléculas de gas ya sea por rayos cósmicos, radioactividad natural, fotoionización, o la energía térmica del gas. La corona es generada por un mecanismo al que comúnmente se le refiere como avalancha de electrones. Este mecanismo ocurre cuando la magnitud del campo eléctrico aplicado es suficientemente grande para acelerar los electrones libres. Cuando los electrones libres alcanzan una velocidad suficiente, ellos chocan con las moléculas neutras de gas y las ionizan. La ionización ocurre cuando la fuerza de colisión remueve un electrón de la molécula de gas, resultando en una molécula de gas cargada positivamente y otro electrón libre. Estos electrones recién liberados también son acelerados y causan ionización adicional.

La corona puede ser positiva o negativa; pero la corona negativa es utilizada en la mayoría de los PE industriales puesto que posee características inherentemente superiores que aumentan la eficacia de recolección bajo la mayoría de las condiciones de operación.

- **Cargar Partículas**

Cargar partículas en un PE tiene lugar en la región entre el límite del resplandor de la corona y el electrodo recolector, donde las partículas de gas están sujetas a la generación de iones negativos provenientes del proceso de corona (negativo).

Al entrar en el PE, las partículas de polvo suspendidas en la corriente de gas efluente están expuestas a una región de espacio llena de iones y, en el caso de una corona negativa, quizás algunos electrones libres. A medida que estas cargas eléctricas se aproximan a las partículas de polvo eléctricamente neutras, un dipolo inducido se establece en la materia del particulado mediante la separación de la carga dentro de las partículas. Como es un dipolo, la partícula en sí permanece neutral mientras que las cargas positivas y negativas dentro de las partículas se concentran dentro de áreas separadas. Las cargas positivas dentro de la partícula se atraen hacia el área de la partícula más cercana al ion negativo que se aproxima. A medida que un ion negativo hace contacto con la materia particulada, las cargas positivas inducidas retendrán alguna carga eléctrica del ion. Esto resulta en una carga negativa neta sobre el particulado previamente neutral. Es requerida la presencia de una carga eléctrica para que el campo eléctrico ejerza una fuerza sobre la partícula y remueva el particulado de la corriente de gas.

El Cargar, es generalmente hecho por ambos mecanismos; los de campo, y los de difusión. El mecanismo dominante varía con el tamaño de la partícula. Al cargar por campo, los iones provenientes de la corona son impulsados hacia las partículas por un campo eléctrico. A medida que los iones continúan a repercutir sobre las partículas de polvo, la carga sobre ellas aumenta hasta que el campo local desarrollado por la carga sobre la partícula causa una distorsión de las líneas del campo eléctrico para que ya no intercepten a la partícula y no se efectúe ninguna carga nueva. Este es el mecanismo dominante para las partículas mayores de alrededor de 0.5 micras. El Cargar por difusión es asociado con la fijación de iones que resultan del movimiento termal al azar; éste es el mecanismo dominante de cargar partículas menores de alrededor de 0.2 micras. Tal como en el caso de cargar por campo, el cargar por difusión está influenciado por la magnitud del campo eléctrico, ya que el movimiento de los iones se gobierna por las fuerzas tanto eléctricas como difusionales.

Ignorando a las fuerzas eléctricas, el cargar por difusión resulta cuando el movimiento termal de las moléculas causa que ellas se difundan a través del gas y hagan

contacto con las partículas. La razón de cargar disminuye a medida que la partícula adquiere carga y repele iones adicionales de gas, pero la acción de cargar continúa hasta cierto punto.

El rango del tamaño de las partículas de aproximadamente 0.2 a 0.5 micras es una región transicional en la cual ambos mecanismos de cargado están presentes pero ninguno domina. Los datos de pruebas de eficacia fraccional han demostrado una eficacia de recolección reducida en este rango de tamaño, en donde los cargados por difusión y por campo se sobreponen.

- **Recolección de Partículas**

El paso final, en la recolección de las partículas en un PES, incluye el movimiento de las partículas cargadas hacia un electrodo con carga opuesta que sostiene a las partículas en su lugar hasta que el electrodo es limpiado. Típicamente, los electrodos recolectores son placas planas paralelas o tubos que son cilíndricos, cuadrados o hexagonales.

El movimiento de las partículas hacia el electrodo recolector es impulsado por un campo eléctrico.

El movimiento de las partículas más grandes (mayores de 10 a 20 μm) seguirán más o menos una trayectoria determinada por la velocidad promedio del gas y la velocidad eléctrica promedio de las partículas. La trayectoria para las partículas más pequeñas ($<10 \mu\text{m}$) será menos directa, puesto que los efectos inerciales del flujo turbulento del gas predominan por encima de la velocidad eléctrica inducida por la carga eléctrica relativamente menor. El movimiento en general de las partículas más pequeñas, sin embargo, será hacia el electrodo recolector. La eficacia de recolección acumulativa de un PE depende generalmente de la eficacia de recolección fraccional de estas partículas más pequeñas, especialmente de las de 0.2 a 2.0 μm de tamaño.

5.6.4.1 TIPOS DE PRECIPITADORES ELECTROSTATICOS

Los precipitadores electrostáticos se dividen generalmente en dos grupos amplios, los PES en seco y los PES en húmedo. La distinción se basa en cuál método se usa para remover al particulado de los electrodos recolectores. En ambos casos, la recolección de partículas ocurre de la misma manera.

Además de las opciones en seco y en húmedo, hay variaciones internas de PES a disposición. Los dos diseños más comunes son los recolectores de placa-alambre y tubo-alambre. Los precipitadores electrostáticos son diseñados con frecuencia con varios compartimientos para facilitar su limpieza y mantenimiento.

- **PES en Seco**

PES en Seco remueven el polvo de los electrodos recolectores al hacer vibrar a los electrodos mediante el uso de golpeadores. Los tipos comunes de golpeadores son los martillos de impacto por gravedad y los vibradores eléctricos. Para un PE determinado, la intensidad y la frecuencia del golpeo debe ser ajustada para optimizar el rendimiento. La energía sónica también es utilizada para ayudar en la remoción del polvo en algunos PES en Seco. Los componentes principales de los PES en Seco pueden ser diseñados para operar en muchas condiciones diferentes de la corriente, temperaturas y presiones. Sin embargo, una vez que un PE es diseñado e instalado, lo más probable es que los cambios en las condiciones de operación degraden el rendimiento.

- **PES en Húmedo**

Los componentes básicos de un PE en Húmedo son los mismos que los de un PE en Seco excepto que un PE en Húmedo requiere un sistema de aspersion de agua en vez de un sistema de golpeadores. Debido a que el polvo es removido de un PE en Húmedo en forma de sedimento lodoso, las tolvas se reemplazan típicamente con un sistema de drenaje. Los PES en Húmedo tienen varias ventajas sobre los PES en Seco. Pueden absorber gases, causar que algunos contaminantes se condensen, son fácilmente integrados con absorbedores, y eliminan el reencauzamiento de las partículas capturadas. Los PES en Húmedo no están limitados por la resistividad de las partículas

ya que la humedad en un PE en Húmedo disminuye la resistividad de las partículas que normalmente tienen una alta resistividad.

Previamente, el uso de los PES en Seco era restringidos a unas pocas aplicaciones especializadas. A medida que las eficacias más altas se han vuelto más deseables, las aplicaciones de los PES en Seco han ido aumentando. Los PES en seco están limitados a operar a la temperatura de la corriente por debajo de aproximadamente 170°F (77°C.) En un PE en húmedo, el particulado recolectado es removido de los electrodos recolectores mediante un lavado de agua o de algún otro líquido apropiado.

Algunas aplicaciones de los PES requieren una aspersión continua del líquido dentro de la corriente de gas; en otros casos, la aspersión debe ser intermitente. Puesto que la aspersión del líquido satura la corriente de gas en un PE en húmedo, también proporciona enfriamiento y acondicionamiento del gas.

Las gotitas líquidas en la corriente de gas son recolectadas junto con partículas y proporcionan otra manera de enjuagar los electrodos recolectores. Algunos diseños de PES establecen una película delgada de líquido que enjuaga los electrodos recolectores.

- **PES de Placa-Alambre**

Los PES de placa-alambre son hasta el momento el diseño más común de un PES. En un PE de placa-alambre, una serie de alambres se encuentran suspendidos de un marco en la parte superior de la unidad. Los alambres generalmente tienen pesas en el fondo para mantenerlos derechos. En algunos diseños, también está provisto un marco al fondo de los alambres para mantener sus distancias entre sí.

Los alambres, acomodados en filas, actúan como electrodos de descarga y están centrados entre placas paralelas grandes, las cuales actúan como electrodos recolectores. La superficie de flujo entre las placas del PE de alambre-tubo se llama conducto. Los PES de placa-alambre pueden ser diseñados para lavado en seco o en húmedo. La mayoría de los PES grandes de placa-alambre, los cuales son construidos en el sitio, son en seco. En un PE de placa-alambre en húmedo, el sistema de lavado se localiza encima de los electrodos.

- **PES de Tubo-Alambre**

En un PE de tubo-alambre, un alambre que funciona como el electrodo de descarga atraviesa a lo largo del eje de un tubo largo, el cual sirve como electrodo recolector. Los alambres con pesas están suspendidos de un marco en la parte superior del PE. Los tubos pueden ser cilíndricos, cuadrados o hexagonales. Antiguamente, sólo se utilizaban los tubos cilíndricos; los tubos cuadrados y hexagonales han crecido en popularidad recientemente. El espacio entre los tubos cilíndricos crea bastante superficie de recolección desperdiciada. Los tubos cuadrados y hexagonales pueden empacarse con mayor proximidad entre sí, de manera que la pared interior de un tubo es la pared exterior de otro. Los recolectores de tubo-alambre son muy efectivos para las velocidades bajas de flujo de gas y para recolectar neblinas (eliminador de neblinas). Pueden utilizar métodos de limpieza en seco o en húmedo, pero la mayoría son lavados por un enjuague líquido. Tal como con los recolectores de placa-alambre, el mecanismo de limpieza en un PE de tubo-alambre se localiza por encima de los electrodos.

5.6.4.2 EFICACIA DE RECOLECCION

Los precipitadores electrostáticos son capaces de recolectar más del 99% de todos los tamaños de particulado. La eficacia de recolección experimenta efectos por varios factores incluyendo la resistividad del gas, la temperatura del gas, la composición química (del polvo y del gas), y la distribución del tamaño de las partículas.

La resistividad de un polvo es la medida de su resistencia a la conducción eléctrica y tiene un gran efecto en el rendimiento de los PES en seco.

La eficacia de un PE está limitada por la fuerza del campo eléctrico que puede generar, la cual a su vez depende del voltaje aplicado a los electrodos de descarga. El voltaje máximo que puede ser aplicado se determina por el voltaje de chispa. A este voltaje, un camino entre los electrodos de descarga y de recolección es ionizado y se produce la chispa. Los polvos altamente resistivos aumentan la producción de chispas, lo cual fuerza al PE a operar a voltajes más bajos. La eficacia de un PE disminuye como resultado del voltaje de operación reducido.

Los polvos de alta resistividad también mantienen su carga eléctrica por un período de tiempo relativamente largo. Esta característica vuelve difícil la remoción del

polvo de los electrodos recolectores. Para desprender el polvo, la intensidad del golpeo debe ser aumentada. El golpeo de alta intensidad puede dañar el PE y causar un reencauzamiento severo, conduciendo a una eficacia de recolección reducida.

El polvo de baja resistividad también puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento de los PES. El polvo de baja resistividad pierde su carga rápidamente una vez que es recolectado. Cuando los electrodos recolectores son limpiados, aún con un golpeo ligero, puede ocurrir un reencauzamiento serio.

La temperatura y la composición química del polvo y de la corriente de gas son factores que pueden influenciar en la resistividad del polvo. La corriente es conducida a través del polvo mediante dos maneras, la conducción por volumen y la conducción por superficie.

La conducción por volumen se lleva a cabo a través del material mismo, y depende de la composición química del polvo. La conducción por superficie ocurre a través de gases o líquidos adsorbidos por las partículas, y depende de la composición química de la corriente de gas. La resistividad del volumen aumenta con el aumento de la temperatura y es la fuerza resistente dominante a temperaturas por encima de aproximadamente 350°F. La resistividad de la superficie disminuye con el aumento de la temperatura y predomina a temperaturas por debajo de alrededor de 250°F. Entre 250 y 350°F, la resistividad del volumen y de la superficie ejercen un efecto combinado, siendo la resistividad total la más alta en este intervalo de temperatura.

La eficiencia de recolección para polvos de alta resistencia puede ser mejorada con el acondicionamiento químico del gas de escape que implica la adición de pequeñas cantidades de sustancias químicas dentro de la corriente del gas. Las sustancias químicas típicas incluyen el bióxido de azufre, el amoníaco y el carbonato de sodio. Estas sustancias químicas proporcionan gases conductivos que pueden reducir sustancialmente la resistividad de la superficie de la ceniza flotante. La resistividad también puede ser reducida por medio de la inyección de vapor o agua dentro de la corriente de gas.

La distribución del tamaño de las partículas tiene un impacto sobre el rendimiento total de un PE. En general, las partículas más difíciles de recolectar son aquellas con diámetros aerodinámicos entre 0.1 y 1.0 μm .

5.6.5 LAVADORES Y ABSORVEDORES HUMEDOS

Los limpiadores en húmedo son dispositivos de control que dependen del contacto directo e indirecto de un líquido (gotas, espuma o burbujas) con la materia particulada. El líquido con la materia particulada es entonces recolectado fácilmente. Los limpiadores en húmedos son clasificados generalmente por el método que se usa para inducir el contacto entre el líquido y la materia particulada, por ejemplo, aspersión, lecho empacado y las placas. Los limpiadores también son descritos con frecuencia como bajos, medianos o altos en energía, en donde la energía se expresa frecuentemente como la caída de presión a través del limpiador.

Los limpiadores húmedos poseen ventajas importantes en comparación con otros dispositivos para la recolección de materia particulada. Pueden recolectar polvos inflamables y explosivos de manera segura. Absorber contaminantes peligrosos y recolectar neblinas. Los limpiadores también pueden enfriar corrientes de gas caliente. También existen algunas desventajas asociadas con los limpiadores en húmedo. Por ejemplo, los limpiadores tienen el potencial de ser dañados por la corrosión y el congelamiento. Además, el uso de los limpiadores en húmedo puede conducir a problemas de contaminación por aguas y sólidos residuales. Estas desventajas pueden ser minimizadas o evitadas con un buen diseño de los limpiadores.

- **Recolección de Partículas y Mecanismos de Penetración**

La forma dominante de captura de materia particulada en la mayoría de los limpiadores industriales en húmedo es la del impacto inercial de las partículas sobre las gotas de líquido. La difusión browniana también conduce a la recolección de partículas. La interceptación directa es otro mecanismo de recolección de los limpiadores. Los mecanismos de recolección menos importantes de los limpiadores utilizan la gravitación, la electrostática y la condensación.

El impacto de la inercia en los limpiadores en húmedo ocurre como resultado de un cambio en la velocidad entre la partícula suspendida en un gas, y el gas en sí. A medida que el gas se acerca a un obstáculo, tal como una gota de líquido, el gas cambia de dirección y fluye alrededor de la gota. Las partículas en el gas también se acelerarán e intentarán cambiar la dirección para pasar alrededor de la gota. Las fuerzas inerciales intentarán mantener el movimiento de la partícula hacia adelante y hacia el objeto, pero

la fuerza del fluido intentará arrastrar a la partícula alrededor de la gota con el gas. El movimiento resultante de la partícula es una combinación de estas fuerzas de arrastre por el fluido y de inercia. Esto resulta en un impacto para las partículas en donde domina la inercia, y en una desviación para aquellas partículas que son arrastradas por la resistencia de los fluidos. Las partículas grandes, o sea las partículas mayores de 10 μm , son recolectadas más fácilmente por el impacto de la inercia porque estas partículas poseen un mayor momento inercial para resistir cambios en el flujo del gas y, por lo tanto, impactan la gota. Las partículas pequeñas (o sea, las partículas $<1 \mu\text{m}$) son más difíciles de recolectar por el impacto de la inercia porque permanecen en las líneas de flujo del gas debido a la predominancia de la fuerza de arrastre de los fluidos.

La recolección por difusión ocurre como resultado tanto del movimiento de los fluidos como del movimiento browniano (al azar) de las partículas. Este movimiento de las partículas en la cámara del limpiador resulta en un contacto directo entre la partícula y el líquido. Puesto que este contacto es irreversible, se realiza la recolección de la materia particulada por el líquido. Los efectos de recolección difusionales son más significantes para las partículas menores de 0.1 μm de diámetro.

La interceptación directa ocurre cuando la trayectoria de una partícula se acerca dentro de un radio del medio de recolección, el cual en un limpiador equivale a una gota de líquido. La trayectoria puede ser el resultado de la inercia, la difusión o el movimiento de los fluidos.

La recolección gravitacional como resultado de la colisión de gotas en descenso se relaciona de manera cercana a la impactación y a la interceptación, y es un mecanismo menor en algunos limpiadores. El asentamiento gravitacional de las partículas por lo general no es un factor debido a las altas velocidades del gas y los cortos tiempos de residencia.

Por lo general, la atracción electrostática no es un mecanismo importante excepto en casos en donde las partículas, el líquido, o ambos, están siendo cargados deliberadamente, o en donde el limpiador sigue a un precipitador electrostático.

Algunos limpiadores están diseñados para aumentar la captura de partículas por medio de condensación. En tales casos, la corriente cargada de polvo se encuentra sobresaturada de líquido (generalmente agua). Las partículas entonces actúan como núcleos de condensación, creciendo en tamaño a manera que más líquido se condensa alrededor de ellas y volviéndose más fáciles de recolectar mediante la impactación inercial.

Los mecanismos de recolección de los limpiadores en húmedo son altamente dependientes del tamaño de las partículas. La impactación inercial es el mecanismo principal de recolección para las partículas mayores de aproximadamente $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro. La eficacia de la impacto inercial aumenta con el aumento del tamaño de las partículas. La difusión es por lo general efectiva sólo para partículas menores de $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro, con eficiencias de recolección aumentando con el aumento del tamaño de las partículas. La combinación de estos dos mecanismos principales de recolección contribuye a una eficiencia mínima de recolección para la materia particulada de aproximadamente $0.1 \mu\text{m}$ de diámetro. La eficiencia de recolección mínima exacta para un absorbedor específico dependerá del tipo de limpiador, las condiciones de operación, y la distribución de las partículas en la corriente de gas.

5.6.5.1 TIPOS DE LAVADORES HUMEDOS

Existe una gran variedad de limpiadores en húmedo que son disponibles ya sea comercialmente o que pueden ser diseñados a medida. Mientras todos los limpiadores en húmedo son similares hasta cierto grado, existen varios métodos distintos de uso del líquido absorbedor para lograr la recolección de partículas. Los limpiadores en húmedo son clasificados por lo general de acuerdo al método que se usa para poner al gas y al líquido en contacto.

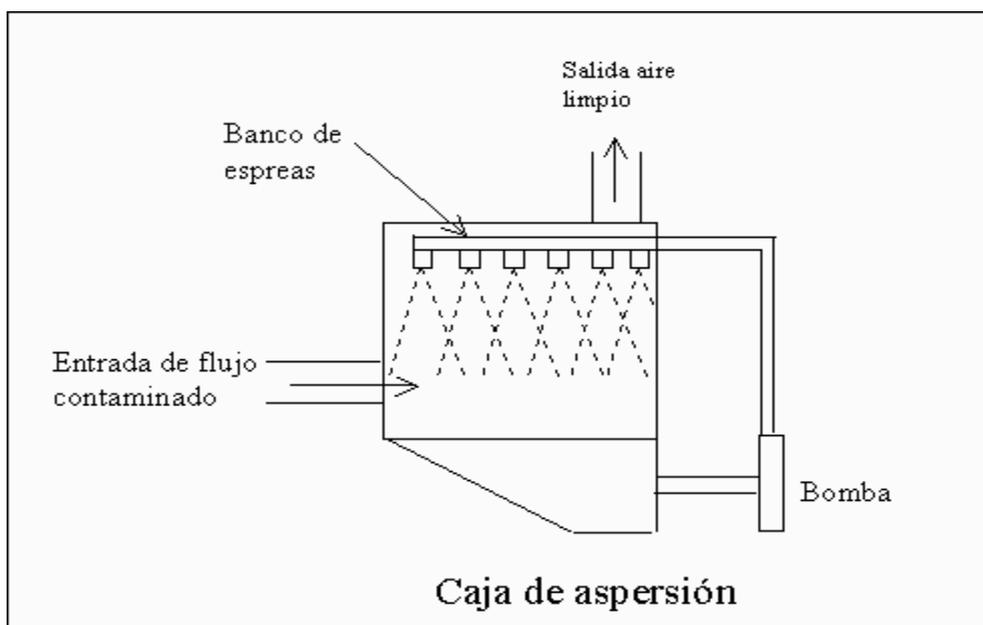
El diseño más común de un limpiador consiste en la introducción de gotas líquidas dentro de una cámara de aspersion, en donde el líquido es mezclado con la corriente de gas para promover el contacto con la materia particulada. En un limpiador con lecho embalado, se utilizan capas de líquido para recubrir varias formas de material de embalaje que se vuelven superficies de impacción para el gas cargado de partículas. La recolección mediante un limpiador también puede ser realizada forzando el gas a altas velocidades a través de un líquido para formar corrientes de propulsión a chorro. Los líquidos también son utilizados para sobresaturar la corriente de gas, dando lugar a la limpieza de partículas por medio de condensación.

- **Cámaras de Aspersión**

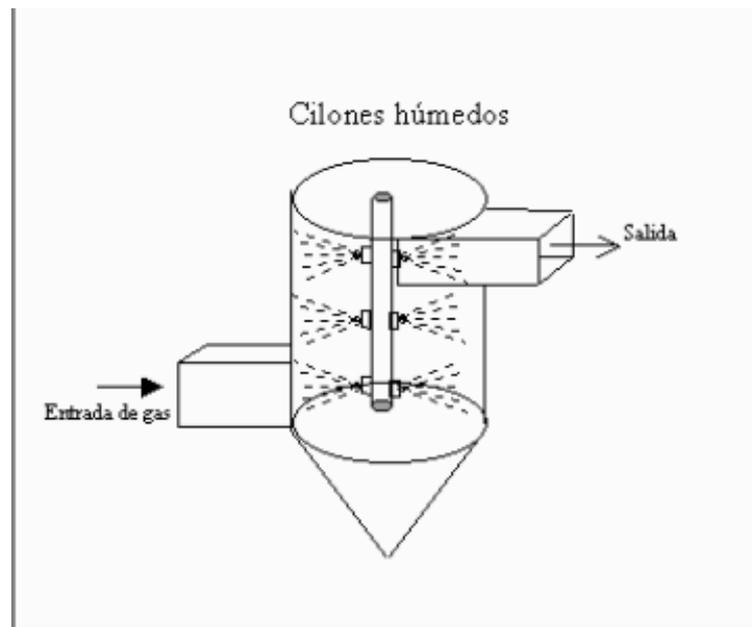
Las cámaras de aspersión son limpiadores en húmedo muy sencillos y de baja energía. En estos limpiadores, la corriente de gas cargada de partículas es introducida dentro de una cámara donde se pone en contacto con gotas de líquido generadas por boquillas de aspersión. Estos limpiadores también son conocidos como limpiadores de aspersión preformados, puesto que el líquido es formado en gotas previo al contacto con la corriente de gas. El tamaño de las gotas generadas por las boquillas de aspersión se controla para maximizar el contacto entre el líquido y la partícula y, en consecuencia, la eficacia de recolección del limpiador. Los tipos comunes de cámaras de aspersión son torres de aspersión y cámaras ciclónicas.

Las torres de aspersión son cámaras cilíndricas o rectangulares que pueden ser instaladas vertical u horizontalmente. En las torres de aspersión verticales, la corriente de gas fluye hacia arriba a través de la cámara y se encuentra con varios grupos de boquillas de aspersión produciendo gotas de líquido. Un de-vaporizador en la parte superior de la torre de aspersión elimina las gotas de líquido y la materia particulada humedecida de la corriente de gas de escape. El líquido limpiador y la materia particulada humedecida también se drenan del fondo de la torre en forma de pasta aguada. Las cámaras de aspersión horizontales operan de la misma manera, excepto por el hecho de que el gas fluye horizontalmente a través del dispositivo.

Una torre de aspersión típica se muestra en la siguiente figura:



Una cámara de aspersión ciclónica es parecida a una torre de aspersión con una diferencia principal. La corriente de gas es introducida para producir un movimiento ciclónico dentro de la cámara. Este movimiento contribuye a velocidades de gas más altas, una separación más efectiva entre la partículas y la gota, y una eficacia de recolección más alta. Una entrada tangencial o aspas giratorias son maneras comunes de inducir el movimiento ciclónico. La figura siguiente proporciona un ejemplo de una cámara de aspersión ciclónica:



- **Limpiadores con Relleno o Lecho Embalado**

Los limpiadores con lecho embalado consisten en una cámara que contiene capas de material de embalaje de diversas formas, tales como los anillos de *Raschig*, anillos de espiral, y las sillas de *Berl*, que proporcionan una gran superficie para el contacto entre el líquido y las partículas.

El embalaje se detiene mediante retenes de rejilla de alambre y es sostenido por una placa cerca del fondo del limpiador. El líquido limpiador es introducido de manera uniforme sobre el embalaje y fluye hacia abajo a través del lecho. El líquido recubre el embalaje y establece una película delgada. En los diseños verticales, la corriente de gas fluye hacia arriba de la cámara (en contra-corriente al líquido). Algunos lechos

embalados están diseñados horizontalmente para el flujo de gas circule transversalmente a través del embalaje.

En los limpiadores de lecho embalado, la corriente de gas es obligada a seguir una trayectoria de circuito a través del embalaje, sobre el cual se impacta una gran parte de la materia particulada. El líquido sobre el embalaje recolecta la materia particulada y fluye hacia abajo de la cámara, hacia el tubo de drenaje al fondo de la torre. Un eliminador de neblina (también llamado un “de-vaporizador”) se posiciona típicamente por encima, después del embalaje y el almacén de líquido limpiador. Cualquier líquido limpiador y materia particulada humedecida encauzados en la corriente de gas tratado serán removidos por el eliminador de neblina y devueltos para vaciarse a través del lecho embalado.

En un limpiador con lecho embalado, las concentraciones altas de materia particulada pueden obstruir el lecho, de ahí que exista la limitación de estos dispositivos a tratar sólo cargas relativamente bajas de polvo.

La obstrucción es un problema serio para los limpiadores con lecho embalado porque el embalaje es más difícil para alcanzar y limpiar que en otros diseños de limpiador. Se encuentran disponibles limpiadores de lecho móvil embalados con esferas de plástico de baja densidad que tienen un movimiento libre dentro del lecho embalado. Estos limpiadores son menos susceptibles a la obstrucción debido al movimiento incrementado del material de embalaje.

En general, los limpiadores con lecho embalado son más apropiados para absorber gases que para absorber partículas debido a los altos requisitos de mantenimiento para el control de la materia particulada.

- **Limpiadores con Placas de Repercusión**

Un limpiador con placas de repercusión es una cámara vertical con placas montadas horizontalmente dentro de un armazón hueco. Los limpiadores con placas de repercusión operan como dispositivos de recolección de materia particulada a contracorriente. El líquido limpiador fluye hacia abajo de la torre mientras que la corriente de gas fluye hacia arriba. El contacto entre el líquido y el gas cargado de partículas ocurre sobre las placas. Las placas están equipadas con aperturas que permiten que el gas pase. Algunas placas están perforadas o tienen ranuras, mientras que las placas más complejas tienen aperturas que semejan válvulas.

La placa de repercusión más sencilla es la placa tamizadora, la cual posee perforaciones redondas. En este tipo de limpiador el líquido absorbedor fluye sobre las placas y el gas fluye hacia arriba a través de los agujeros. La velocidad del gas evita que el líquido fluya hacia abajo a través de las perforaciones. El contacto entre el gas, el líquido y las partículas se logra dentro de la espuma generada por el gas pasando a través de la capa de líquido. Las placas complejas, tales como las placas con diafragmas de burbuja o trabas, introducen una manera adicional de recolectar materia particulada. Las placas con diafragmas de burbuja y trabas colocadas por encima de las perforaciones de las placas obligan al gas a volverse antes de escapar de la capa de líquido. Mientras el gas da vueltas para evitar los obstáculos, la mayoría de la materia particulada no puede hacerlo y es recolectada por impacto sobre las burbujas o las trabas. Los diafragmas de burbujas y similares también evitan que el líquido fluya hacia abajo de las perforaciones si se reduce el flujo de gas.

En todos los tipos de limpiadores con placas de repercusión, el líquido limpiador fluye a través de cada placa y hacia abajo por el interior de la torre hasta caer sobre la placa que se encuentra al fondo. Después de la placa del fondo, el líquido y la materia particulada recolectada fluyen desde el fondo hacia afuera de la torre.

Los limpiadores con placas de repercusión por lo general están diseñados para proporcionar el acceso del operador a cada caja, volviéndolos relativamente fáciles de limpiar y mantener. En consecuencia, los limpiadores con placas de repercusión son más apropiados para la recolección de materia particulada que los limpiadores con lecho embalado.

- **Limpiadores con Ayuda Mecánica**

Los limpiadores con ayuda mecánica (LAM) emplean un ventilador o hélice impulsora accionado por un motor para mejorar el contacto entre el gas y el líquido. Generalmente en los LAM, el líquido limpiador es rociado hacia las aspas del ventilador o de la hélice impulsora. Los ventiladores y las hélices impulsoras son capaces de producir gotas muy finas de líquido con velocidades muy altas. Estas gotas son efectivas en el contacto con la materia particulada fina. Una vez que la materia particulada se ha impactado sobre las gotas, ésta es removida normalmente por un movimiento ciclónico. Los limpiadores con ayuda mecánica son capaces de obtener altas eficiencias de recolección, pero sólo con un alto consumo de energía.

Debido a que muchas partes móviles se encuentran expuestas al gas y al líquido en un LAM, estos limpiadores tienen requisitos altos de mantenimiento. Las partes mecánicas son propensas a la corrosión, la acumulación de materia, y el desgaste. En consecuencia, los limpiadores con ayuda mecánica tienen aplicaciones limitadas para el control de la materia particulada.

- **Limpiadores con Ayuda Mecánica**

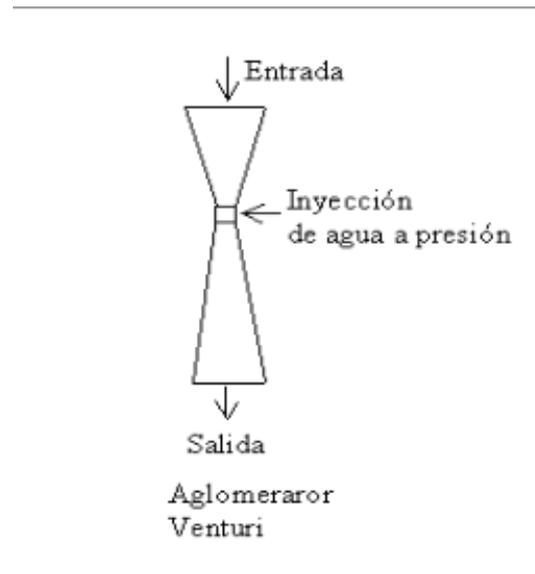
Los limpiadores con ayuda mecánica (LAM) emplean un ventilador o hélice impulsora accionado por un motor para mejorar el contacto entre el gas y el líquido. Generalmente en los LAM, el líquido limpiador es rociado hacia las aspas del ventilador o de la hélice impulsora. Los ventiladores y las hélices impulsoras son capaces de producir gotas muy finas de líquido con velocidades muy altas. Estas gotas son efectivas en el contacto con la materia particulada fina. Una vez que la materia particulada se ha impactado sobre las gotas, ésta es removida normalmente por un movimiento ciclónico. Los limpiadores con ayuda mecánica son capaces de obtener altas eficiencias de recolección, pero sólo con un alto consumo de energía.

Debido a que muchas partes móviles se encuentran expuestas al gas y al líquido en un LAM, estos limpiadores tienen requisitos altos de mantenimiento. Las partes mecánicas son propensas a la corrosión, la acumulación de materia, y el desgaste. En consecuencia, los limpiadores con ayuda mecánica tienen aplicaciones limitadas para el control de la materia particulada.

- **Limpiadores Tipo Venturi**

Un Limpiador tipo Venturi, o de aerosol atomizado por gas, acelera la corriente de gas para atomizar el líquido absorbedor y mejorar el contacto entre el gas y el líquido. En un Limpiador tipo Venturi, se incorpora una sección de garganta dentro del conducto que fuerza a la corriente de gas a acelerarse a medida que el conducto se estrecha y después se expande. A medida que el gas entra a la garganta tipo Venturi, tanto la velocidad del gas como la turbulencia aumentan. El líquido limpiador es rociado dentro de la corriente de gas antes de que el gas alcance la garganta de Venturi. El líquido limpiador enseguida es atomizado en pequeñas gotitas por la turbulencia en la

garganta y la interacción entre gotas y partículas aumenta. Después de la sección de garganta en un absorbedor tipo Venturi, la materia particulada humedecida y las gotas de líquido en exceso son separadas de la corriente de gas por un movimiento ciclónico y/o un eliminador de neblina. Los limpiadores tipo Venturi tienen la ventaja de ser sencillos en su diseño, fáciles de instalar y con requisitos bajos de mantenimiento. Un ejemplo de un absorbedor tipo Venturi se proporciona en la figura siguiente.



El rendimiento de un limpiadores tipo Venturi depende hasta cierto grado de la velocidad del gas a través de la garganta. Varios limpiadores tipo Venturi han sido diseñados para permitir el control de la velocidad variando la anchura de la garganta tipo Venturi. Debido a la alta interacción entre la materia particulada y las gotas, los limpiadores tipo Venturi son capaces de altas eficacias de recolección para la materia particulada pequeña. Desafortunadamente, aumentar la eficacia de un Limpiador tipo Venturi requiere aumentar la caída de presión la cual, a su vez, aumenta el consumo de energía.

- **Limpiadores con Orificio**

Los limpiadores con orificio, también conocidos como limpiadores autoinducidos, obligan a la corriente de gas a pasar sobre la superficie de un depósito de líquido absorbedor a medida que entra en un orificio. Con las altas velocidades típicas de este tipo de limpiador el líquido del depósito se encauza en la corriente de gas en

forma de gotas. A medida que aumenta la velocidad y la turbulencia del gas con el paso del gas a través de un orificio angosto, la interacción entre la materia particulada y las gotas de líquido también aumenta. La materia particulada y las gotas son removidas enseguida de la corriente de gas por repercusión sobre una serie de trabas con que el gas se encuentra después del orificio. El líquido y la materia particulada recolectados se vacían desde las trabas una vez más hacia el depósito de líquido debajo del orificio. Los limpiadores con orificio pueden recolectar eficazmente partículas mayores de 2 μm de diámetro. Algunos limpiadores con orificio están diseñados con orificios ajustables para controlar la velocidad de la corriente de gas.

Los limpiadores con orificio generalmente tienen pocas demandas de líquido, puesto que usan el mismo líquido absorbedor durante períodos prolongados de tiempo. Debido a que los limpiadores con orificio son relativamente sencillos en diseño y generalmente poseen pocas partes móviles, la mayor preocupación de mantenimiento es la eliminación del sedimento residual que se acumula al fondo del limpiador. Los limpiadores con orificio raras veces se vacían continuamente desde el fondo porque un depósito estático de líquido limpiador se necesita todo el tiempo. Por lo tanto, el sedimento es removido por lo general con un eyector de sedimento que opera como una cinta transportadora. A medida que el sedimento se asienta hacia el fondo del limpiador, cae sobre el eyector y es transportado hacia arriba y fuera del limpiadores.

- **Limpiadores por Condensación**

La absorción por condensación es un desarrollo relativamente reciente en la tecnología de los limpiadores en húmedo. La mayoría de los limpiadores convencionales dependen de los mecanismos de impactación y difusión para lograr el contacto entre la materia particulada y las gotas de líquido. En un limpiador por condensación, la materia particulada actúa como un núcleo de condensación para la formación de gotas. Por lo general, la absorción por condensación depende primero del establecimiento de condiciones de saturación en la corriente de gas. Una vez que se logra la saturación, se inyecta vapor dentro de la corriente de gas. El vapor crea una condición de supersaturación y lleva a la condensación de agua sobre la materia particulada fina en la corriente de gas. Las gotas condensadas grandes pueden ser removidas por varios dispositivos convencionales. Típicamente, también se usa un eliminador de neblina. Un absorbedor de materia particulada de “crecimiento” por

condensación de alta eficacia ha sido desarrollado y diseñado específicamente para capturar la materia fina que escapa a los dispositivos de control de materia particulada. Este tipo de limpiador utiliza un proceso de etapas múltiples, incluyendo cámaras de pretratamiento y crecimiento, que proporcionan un ambiente que favorece que la materia particulada fina se coagule y forme partículas mayores.

- **Limpiadores Cargados**

Los limpiadores en húmedo cargados, o aumentados eléctricamente, utilizan efectos electrostáticos para mejorar las eficacias de recolección para la materia particulada fina con limpiador en húmedo.

Puesto que los limpiadores en húmedo convencionales dependen de la impactación inercial entre la materia particulada y las gotas de líquido para la recolección de las partículas, son generalmente inefectivos para las partículas con diámetros menores de 1 μm . La precarga de la materia particulada en la corriente de gas puede aumentar significativamente la eficacia de recolección para estas partículas submicrométricas. Cuando, tanto las partículas como las gotas se cargan, las eficacias de recolección para las partículas micrométricas son las más altas, aproximándose a las de un precipitador electrostático (PE).

Existen varios tipos de limpiadores cargados en húmedo. La materia particulada puede ser cargada negativa o positivamente, impartándose una carga opuesta a las gotas. Las gotas también pueden ser bipolares (una mezcla de positivo y negativo). En este caso, la materia particulada puede ser bipolar o unipolar.

- **Limpiadores con Lecho de Fibra**

En los limpiadores con lecho de fibra, la corriente de gas cargada de humedad pasa a través de colchas de fibras de embalaje tales como la lana de vidrio, la fibra de vidrio y fibra de acero. Las colchas de fibra también son rociadas con el líquido limpiador con frecuencia. Dependiendo de los requisitos del limpiador, pueden existir varias colchas de fibra y un dispositivo de repercusión para la remoción de la materia particulada incluidos en el diseño. La colcha de fibras final es típicamente seca para la remoción de cualquier gota que todavía permanezca encauzada en la corriente. Los limpiadores con lecho de fibra son más apropiados para la recolección de materia

particulada soluble, o sea, las partículas que se disuelve en el líquido limpiador puesto que grandes cantidades de materia insoluble obstruirán las colchas de fibra con el tiempo. Por esta razón, los limpiadores con lecho de fibra son usados con frecuencia como eliminadores de neblina, o sea, para la recolección de líquidos, más que para el control de la materia particulada.

5.6.5.2 EFICACIA DE RECOLECCION

Las eficacias de recolección para los limpiadores en húmedo son muy variables. La mayoría de los limpiadores convencionales pueden alcanzar altas eficacias de recolección para partículas mayores de 1.0 μm de diámetro, sin embargo son dispositivos de recolección generalmente inefectivos para las partículas submicrométricas ($<1 \mu\text{m}$). Algunos limpiadores no convencionales, tales como los que operan por condensación y los cargados, son capaces de altas eficacias de recolección, aún para partículas submicrométricas. Las eficacias de recolección para los limpiadores convencionales dependen de factores de operación tales como la distribución de tamaño de las partículas, la carga de polvo de entrada y la entrada de energía.

Los limpiadores convencionales dependen casi exclusivamente del impacto inercial para la recolección de las partículas. Como se mencionó previamente, la eficacia del limpiador que depende de mecanismos de recolección por impacto inercial aumentará a medida que el tamaño de las partículas aumenta. Por lo tanto, se anticipa que la eficacia de recolección de las partículas pequeñas ($<1 \mu\text{m}$) sea menor para estos limpiadores. La eficacia de los limpiadores que dependen de la impactación inercial puede ser mejorada, sin embargo, aumentando la velocidad relativa entre la materia particulada y las gotas de líquido.

El aumento de velocidad permitirá que las partículas pequeñas sean recolectadas por impactación. Esto puede ser logrado en la mayoría de los limpiadores incrementando la velocidad de la corriente de gas. Desafortunadamente, aumentar la velocidad del gas también aumentará la caída de presión, la demanda de energía y los costos de operación para el limpiador.

Otro factor que contribuye a una baja eficacia en los limpiadores para las partículas pequeñas es el tiempo corto de residencia. Típicamente, una partícula permanece en la zona de contacto de un limpiador durante sólo unos pocos segundos.

Esto es tiempo suficiente para recolectar las partículas grandes que son afectadas por los mecanismos de impactación. Sin embargo, puesto que las partículas submicrométricas son recolectadas más efectivamente por mecanismos de difusión que dependen del movimiento al azar de las partículas, se necesita un tiempo suficiente en la zona de contacto para que este mecanismo sea efectivo. En consecuencia, aumentar el tiempo de residencia del gas deberá también aumentar el tiempo de contacto entre partículas y líquido y la eficacia de recolección para las partículas pequeñas.

Una relación importante entre la concentración de polvo de entrada (carga) y la eficacia de recolección fina en los limpiadores ha sido descubierta recientemente. Esto es, la eficacia aumentará con el aumento en la carga de polvo. Esto sugiere que la eficacia de eliminación del limpiador no es constante para un diseño de limpiador en particular a menos que sea referenciado a una carga de polvo de entrada específica. En contraste, ha sido demostrado que la concentración de polvo de salida (tratada) en un limpiador es una constante, independiente de la concentración a la entrada.

5.7 VENTILADORES

Un ventilador es simplemente un equipo que crea la diferencia en la presión para mover el aire a través del sistema. Mientras más grande es la diferencia de la presión creada por el ventilador, más grande será el volumen de aire movido a través del sistema. Este es el mismo principio relacionado con las bombas de agua. La única diferencia en este caso es que el ventilador bombea aire y no agua. Se utiliza un rodete como unidad impulsora. Un ventilador tiene como mínimo una abertura de aspiración y una abertura de impulsión. Las aberturas pueden tener o no elementos para su conexión al conducto de trabajo.

Los ventiladores también se conocen con el nombre de extractores. La diferencia entre ambos consiste en que el primero descarga el aire venciendo una cierta presión en su boca de salida; el segundo saca el aire por aspiración y lo descarga con una ligera presión.

5.7.1 CONCEPTOS. PRESION

La presión es la fuerza por unidad de superficie. Corresponde a la energía por unidad de volumen de fluido y puede expresarse por la fórmula:

$$P = \frac{F}{S}$$

En el estudio de los ventiladores se insertan conceptos básicos que caracterizan el movimiento del aire, encontrándose dentro de ellos el caudal y la presión estática, dinámica y total, que se describen a continuación:

Por *Caudal* (Q) se entiende el volumen de aire movido por un ventilador en la unidad de tiempo, generalmente dado en m^3/h o m^3/s , independientemente de la densidad del aire.

La *Presión Estática* (P_e) es la porción de la presión del aire debida solamente al grado de compresión del mismo. O bien, es la fuerza por unidad de superficie ejercida en todas direcciones y sentidos, al de la dirección y sentido de la velocidad.

Puede existir un fluido en movimiento o en reposo, ya que todo fluido ejerce una presión sobre las paredes del recipiente que lo contiene, ejerciéndose igual en todas las direcciones, siendo su cuantía el cociente entre el valor de esa fuerza y la superficie que recibe su acción

Si se expresa como presión manométrica puede ser positiva o negativa. La presión estática es positiva cuando es mayor que la presión atmosférica, diciendo entonces que existe una sobrepresión. Por el contrario, la presión estática es negativa cuando es menor que la atmosférica, llamándose depresión.

La *Presión Dinámica* P_d es la porción de la presión del aire debida solamente al movimiento del aire. También se puede decir que la presión dinámica de una corriente de aire es la fuerza por unidad de superficie que equivale a la transformación íntegra de la energía cinética en energía de presión.

La presión dinámica es siempre positiva y se manifiesta únicamente en el sentido de la velocidad.

El movimiento del aire es debido a la diferencia de presiones que existe entre dos puntos. Por lo tanto, la velocidad del flujo depende de la resistencia que encuentre la corriente de aire. Al igual que cualquier otra cosa que se mueve, el aire ejerce una presión contra los obstáculos que encuentra a su paso y es proporcional a su velocidad.

Viene expresada por:

$$P_d = \frac{\gamma \cdot V^2}{2 \cdot g} \text{ (Kg / m}^2\text{)}$$

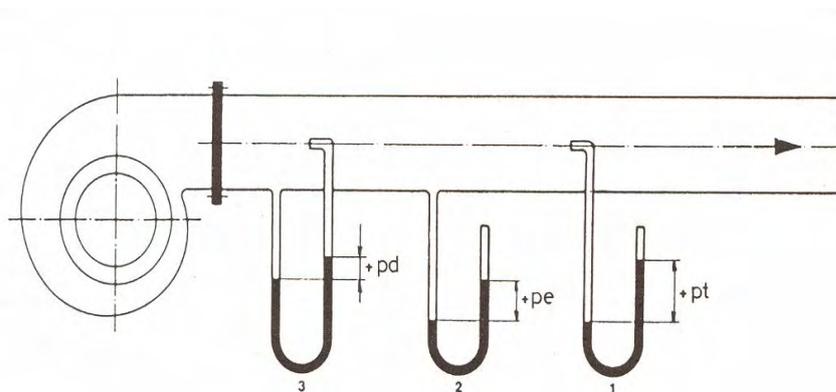
siendo:

- γ = densidad del aire en Kg / m³
- g = aceleración de la gravedad ($g = 9,8 \text{ m / s}^2$)
- V = velocidad del aire en m / s

La *Presión Total* (P_t) es la presión debida al grado de compresión del aire y a su movimiento. Es la suma algebraica de la presión dinámica y de la presión estática.

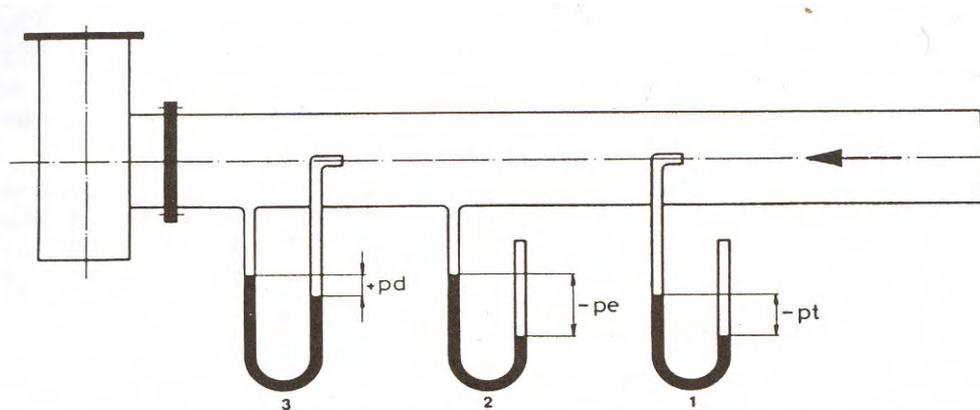
Es oportuno observar que mientras la presión estática es negativa en la aspiración y positiva en la impulsión, la presión dinámica es siempre positiva, por lo que la presión total es la suma algebraica de ambas.

En los conductos de impulsión las presiones estáticas y total son positivas, resultando una sobrepresión. Todo ello queda reflejado en la siguiente figura:



conducto de impulsión

En los conductos de aspiración las presiones estáticas y total son negativas, en consecuencia se tiene una depresión como se señala en la siguiente figura:



conducto de aspiración

Como se puede ver en las figuras anteriores, la presión dinámica que corresponde a la velocidad del flujo es siempre positiva (sobrepresión).

En resumen se puede escribir:

$$\text{Presión total} = \text{presión estática} + \text{presión dinámica}$$

Caracterizándose los ventiladores por su presión total.

Según el teorema de Bernuilli, la presión total es constante en todos los puntos de un conducto. Dicho teorema solamente es válido en el caso de un gas perfecto e incompresible, o que pueda ser tratado como tal.

En realidad no hay ningún gas perfecto; no obstante, el aire y algunos otros gases se comportan, con bastante aproximación, como si fueran gases perfectos o ideales, y permiten deducir que la presión dinámica puede transformarse en presión estática, e inversamente, cuando se producen cambios de sección en un conducto. Esta transformación contiene una pérdida de presión, tanto más adecuada cuanto mayor sea la variación de velocidades.

5.7.2 DIFERENCIA DE PRESION TOTAL DESARROLLADA POR UN VENTILADOR

En régimen de funcionamiento el fluido llega a la abertura de aspiración del ventilador a la presión atmosférica si no existe ningún conducto unido a su abertura; o a una presión inferior a la atmosférica si el ventilador aspira por intermedio de un conducto motivado por la pérdida de presión causada por el paso del fluido a través del conducto.

En el caso de no haber tubería de aspiración, las pérdidas de entrada en el rodete del ventilador constituyen unas pérdidas totales y se reflejan en el rendimiento mecánico del ventilador. Si a la abertura de impulsión de este no va unido ningún conducto, la presión estática en dicha abertura es cero y la de presión total es igual a la presión dinámica media. En cualquier caso, la diferencia de presión total media (presión total) creada es igual a la presión total media a la salida del ventilador menos la presión total media a la entrada.

5.7.3 LEYES FUNDAMENTALES DE LOS VENTILADORES

En la norma UNE 100-230-95, que trata de este tema, encontramos lo siguiente: "Si un ventilador debe funcionar en condiciones diferentes de las ensayadas, no es práctico ni económico efectuar nuevos ensayos para determinar sus prestaciones."

Mediante el uso de un conjunto de ecuaciones designado con el nombre de LEYES DE LOS VENTILADORES es posible determinar, con buena precisión, las nuevas prestaciones a partir de los ensayos efectuados en condiciones normalizadas.

Al mismo tiempo, estas leyes permiten determinar las prestaciones de una serie de ventiladores geoméricamente semejantes a partir de las características del ventilador ensayado.

Las leyes de los ventiladores están indicadas, bajo forma de relación de magnitudes, en ecuaciones que se basan en la teoría de la mecánica de fluidos y su exactitud es suficiente para la mayoría de las aplicaciones, siempre que el diferencial de presión sea inferior a 3 kPa, por encima del cual se debe tener en cuenta la compresibilidad del gas. Con el ánimo de precisar un tanto más lo que expone la norma UNE, podríamos decir que cuando un mismo ventilador se somete a regímenes distintos

de marcha o bien se varían las condiciones del fluido que trasiega, pueden calcularse por anticipado los resultados que se obtendrán a partir de los conocidos, por medio de unas leyes o relaciones sencillas que también son de aplicación cuando se trata de una serie de ventiladores homólogos, esto es, de dimensiones y características semejantes que se mantienen al variar el tamaño al pasar de unos de ellos a cualquier otro de su misma familia. Estas leyes se basan en el hecho que dos ventiladores de una serie homóloga tienen homólogas sus curvas características y para puntos de trabajo semejantes tienen el mismo rendimiento, manteniéndose entonces interrelacionadas todas las razones de las demás variables.

Las variables que comprenden a un ventilador son la velocidad de rotación, el diámetro de la hélice o rodete, las presiones total, estática y dinámica, el caudal, la densidad del gas, la potencia absorbida, el rendimiento y el nivel sonoro.

Además debe tenerse en cuenta, antes de aplicar las leyes de los ventiladores que los valores conocidos lo sean de un aparato de la misma familia trabajando en las mismas condiciones bajo las cuales queremos determinar los nuevos valores y que las condiciones del ventilador considerado sean todas proporcionales a las correspondientes del tomado como punto de partida y cuyos valores reales de ensayo se conozcan. También es necesario que la velocidad del fluido dentro del ventilador sea proporcional de uno a otro y para lo cual debe comprobarse que la razón entre la velocidad periférica de dos puntos de un rodete sea la misma que la de entre la de dos puntos semejantes del otro rodete.

Si se consideran las funciones variables de un ventilador:

- Q = caudal m^3/s
- P_t = presión total mm de c.d.a
- P_a = potencia absorbida Kw
- N = velocidad de rotación r/min
- D = diámetro del rodete, mm
- ρ = densidad del aire

se pueden llegar a extraer principios básicos si se hacen ciertos análisis estudiando las variables.

Así para un mismo diámetro del rodete y un circuito prefijado con aire a densidad constante, se puede establecer:

1. Cuando se modifica la velocidad del rodete se tiene que:

a) El caudal o volumen de aire circulante está en proporción directa con la relación de velocidades de rotación

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

b) La presión total disponible a la salida del ventilador es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad de rotación. Igualmente lo son la presión estática y dinámica.

$$Pt_2 = pt_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

c) La potencia absorbida por el ventilador para su accionamiento es directamente proporcional al cubo de la relación de velocidades de rotación.

$$Pa_2 = Pa_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

En consecuencia, mediante las relaciones anteriores se pueden conocer los valores que toman las diferentes variables para diferentes regímenes de giro del ventilador. Variando la velocidad de éste se puede conseguir que el caudal y la presión de amolden a las necesidades de cada momento.

2. Para una misma velocidad de rotación, caso de una serie de ventiladores similares con rodetes geoméricamente comparables y para pequeñas diferencias en el diámetro se asume que:

- a) El caudal es directamente proporcional al cubo del diámetro del rodete:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

- b) la presión total, y por tanto la presión estática y dinámica, es proporcional al cuadrado del diámetro del rodete.

$$Pt_2 = Pt_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

- c) La potencia absorbida es proporcional a la quinta potencia del diámetro del rodete.

$$Pa_2 = Pa_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5$$

3. Cuando varía la densidad del aire. Las características de un ventilador están generalmente indicadas para aire con una densidad fija ($\rho = 1,2$). Es necesario ahora conocer las características que aseguraría con un fluido de densidad distinta, ρ_2 , teniendo en cuenta que el rendimiento y el caudal en volumen siguen siendo constantes, es decir $Q_1 = Q_2$. Para hallar esta nueva densidad producida por efecto de la altitud sobre el nivel del mar o por causa de la temperatura, y considerando un mismo diámetro de rodete y velocidad constante, se han de aplicar las siguientes relaciones.

- a) La presión o igualdad de caudal varía en proporción directa con la densidad.

$$Pt_2 = Pt_1 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

- O en proporción inversa con la temperatura absoluta y directamente proporcional a la presión barométrica.

- b) La potencia absorbida a igual de caudal es proporcional a la densidad.

$$Pa_2 = Pa_1 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

O inversamente inversa con la temperatura absoluta y directamente proporcional a la presión barométrica.

- c) En función de las temperaturas absolutas, la nueva densidad del gas será conocida por:

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \frac{T_1}{T_2}$$

donde,

T en grados Kelvin

$$T_1 = t_1 + 273$$

$$T_2 = t_2 + 273$$

Los cambios de densidad están originados por las modificaciones en la presión y la temperatura y por la composición del gas en cuestión.

5.7.4 RENDIMIENTO Y POTENCIA

La relación entre potencia útil generada por un ventilador y la absorbida en su eje, expresadas ambas en CV o KW, se denomina *rendimiento mecánico*, η_m .

$$\text{Rendimiento Mecánico del ventilador, } \eta_m = \frac{\text{Potenciaútil generada}}{\text{Potenciaabsorbida}}$$

Los valores típicos para η_m están comprendidos entre 0,90 y 0,98.

La *potencia útil* generada es función de la presión estática y de la presión dinámica. Sin embargo, la presión dinámica no puede convertirse totalmente en trabajo útil en razón a que no puede transformarse plenamente en presión estática, y los límites entre los cuales se puede realizar dicha conversión depende en parte de la forma de los conductos y del modo en que este realizada la instalación. Por este motivo en determinadas ocasiones se calcula el rendimiento basándose en la presión estática.

Por consiguiente tendremos *rendimiento mecánico* y *estático*, pudiendo calcularse por las relaciones siguientes:

$$\eta_m = \frac{P_U}{P_a} = \frac{P_t \cdot Q}{75 \cdot P_a}$$

$$\eta_e = \frac{P_e \cdot Q}{75 \cdot P_a}$$

donde,

- Q = caudal de aire, m³/h
- Pa = potencia absorbida, CV
- Pu = potencia útil, CV
- Pt = presión total, mm de c.d.a
- Pe = presión estática, mm de c.d.a
- η_m = rendimiento mecánico
- η_e = rendimiento estático

Se conoce como *rendimiento total* del ventilador a la relación entre la potencia generada por el ventilador y la potencia absorbida por el mismo, siendo la potencia generada por el ventilador la potencia suministrada al aire. Es proporcional al producto del caudal y la presión total. El rendimiento total viene expresado por la ecuación:

$$\eta_t = \frac{Q \cdot P_t}{P_a}$$

El rendimiento se expresa en tanto por uno. Los valores en porcentaje se obtienen multiplicándolos por cien.

La *potencia absorbida* por un ventilador es la potencia necesaria para moverla añadiendo además los elementos del sistema de accionamiento que se considera como parte del ventilador.

La potencia absorbida relaciona caudal, presión y rendimiento, viniendo representada por:

$$Pa = \frac{Q \cdot Pt}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_t} (KW)$$

o bien,

$$Pa = \frac{Q \cdot Pt}{3600 \cdot 75 \cdot \eta_t} (CV)$$

La correspondencia entre los rendimientos estático y total es:

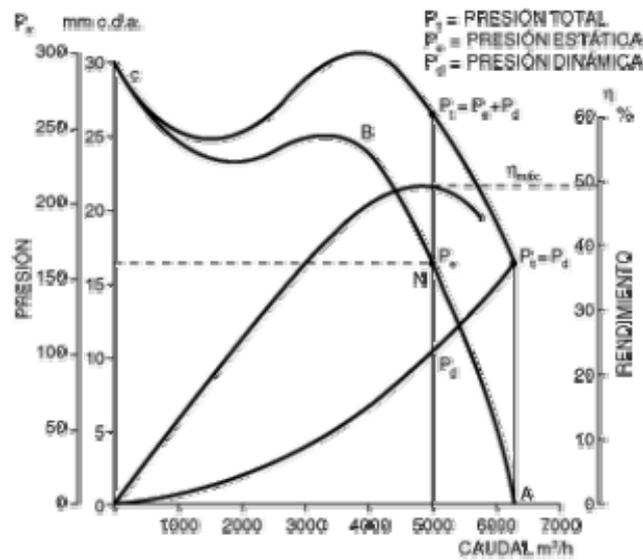
$$\frac{\eta_e}{\eta_t} = \frac{Pe}{Pt}$$

La potencia absorbida leída en las curvas de los ventiladores debe ser incrementada para tener en cuenta las pérdidas de transmisión, así como una eventual sobrecarga.

5.7.5 CURVAS CARACTERISTICAS

Para poder disponer de los distintos caudales de que es capaz un ventilador según sea la pérdida de carga del sistema resistente contra el cual esté trabajando, se ensaya el aparato variándole la carga desde el caudal máximo al caudal cero. Todos los pares de valores obtenidos caudal-presión se llevan a unos ejes coordenados, obteniéndose la *Curva Característica*.

La figura siguiente representa una curva tipo en la que se han graficado las presiones estáticas, que representan las pérdidas de carga, y las totales y dinámicas. También se representa una curva de rendimiento mecánico del aparato.



Representación de una curva tipo en la que se han graficado las presiones estáticas

La característica de un ventilador es la mejor referencia del mismo ya que indica su capacidad en función de la presión que se le exige.

El punto ideal de funcionamiento es el que corresponde a su máximo rendimiento y es con el que debería coincidir el punto de diseño del mismo, el punto N en la figura anterior.

La zona de trabajo idónea de un ventilador es el tramo A-B de su característica. Entre B y C su funcionamiento es inestable, el rendimiento desciende rápidamente y aumenta notablemente el ruido. Por ello en muchos catálogos se representa sólo el tramo eficaz de funcionamiento obviando el tramo hasta la presión máxima de que es capaz. Vemos, que el ventilador es una máquina que utiliza la energía de que dispone para vencer una pérdida de carga y para mover un caudal de aire.

Como sea que ambas magnitudes están relacionadas de tal forma que un aumento de la primera representa ineludiblemente una reducción de la segunda, nos damos cuenta de la importancia que tiene decidir la configuración de un sistema de ventilación de forma que exija la menor pérdida de carga posible, para así, mover un mayor caudal de aire que, en definitiva, es la misión primordial del ventilador.

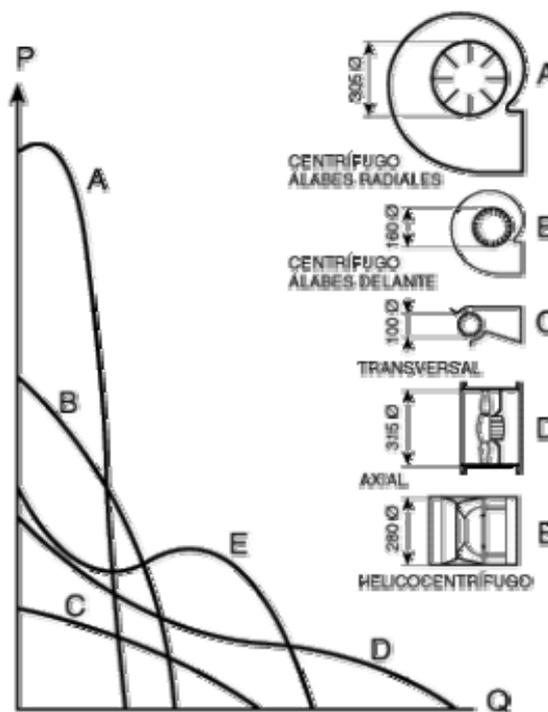
Para conocer el punto en que trabajará un ventilador, una vez determinada la pérdida de carga que debe vencer el mismo, no hay más que, sobre el eje de ordenadas, señalar la pérdida de carga en mm c.d.a..

A partir de aquí y con una horizontal llegaremos a cortar la curva característica en un punto, a partir del cual y mediante una línea vertical llegaremos a cortar el eje de abscisas, en donde nos indicará el caudal que proporcionará el ventilador en cuestión, trabajando contra la pérdida de carga que hemos considerado inicialmente.

Por ejemplo, si el ventilador de la figura anterior debe vencer 16 mm c.d.a., a partir de este valor sobre el eje de ordenadas, con una horizontal cortaremos la curva en el punto de trabajo N y de aquí, con una vertical, encontraremos el eje de abscisas en 5.000 m³/h que es el caudal que dará el aparato.

De todo lo expuesto puede concluirse lo siguiente:

1. Es indispensable disponer de las curvas características de los ventiladores susceptibles de ser instalados, para cualquier cálculo e instalación que se haga.



Curvas características

2. Las curvas deben estar avaladas por el fabricante, quien las garantizará haciendo referencia a la norma y disposición adoptada para su determinación.

Las curvas características de ventiladores se obtienen en laboratorios de ensayos debidamente equipados y por analistas especializados. Ello supone la sujeción a

procedimientos según normalizaciones oficiales y aparatos, túneles y cámaras calibrados. La máxima garantía se obtiene cuando el laboratorio cuenta con una acreditación oficial, por ejemplo cuando el ensayo de los ventiladores se realiza conforme a las normas españolas UNE 100-212-89, británicas BS 848 Part 1 y americanas AMCA/ASHRAE 210-85/51-1985, conciliadas todas ellas en la mundial ISO CD 5801/3-1992.

5.7.6 SELECCION DE UN VENTILADOR

Para la selección de un ventilador en particular hay que acudir al catálogo del fabricante en el que se publican las características del ventilador en cuestión en forma de gráficos o tablas. Las unidades más comunes empleadas por los fabricantes corresponden a:

- presiones, mm de c.d.a
- caudal, m³/h
- potencias, CV o Kw.

Para seleccionar el ventilador hay que buscar el punto de funcionamiento o punto de trabajo, que como ya se mencionó anteriormente se obtiene por intersección de la característica de caudal – presión, se encuentra en la zona de máximo rendimiento. Ello será correcto si se mira el aspecto energético y también la cuestión de minimizar el ruido que se origina en la impulsión de aire forzada por el ventilador.

Por lo que respecta a las condiciones de estabilidad del ventilador se puede decir que se puede decir que se definen las inestabilidades de caudal como aquellas en las que se producen variaciones rápidas y persistentes en la relación caudal – presión. Su repercusión más inmediata tiene el efecto de que se inicien ruidos y vibraciones que incluso pueden llegar a causar daños mecánicos.

En caso de anomalías imprevistas o duda razonable, siempre se debe consultar al fabricante cuyos servicios técnicos deben proporcionar más información sobre el comportamiento del ventilador según sea el caudal y la presión que esté dando o requiramos y para las condiciones que ha sido diseñado.

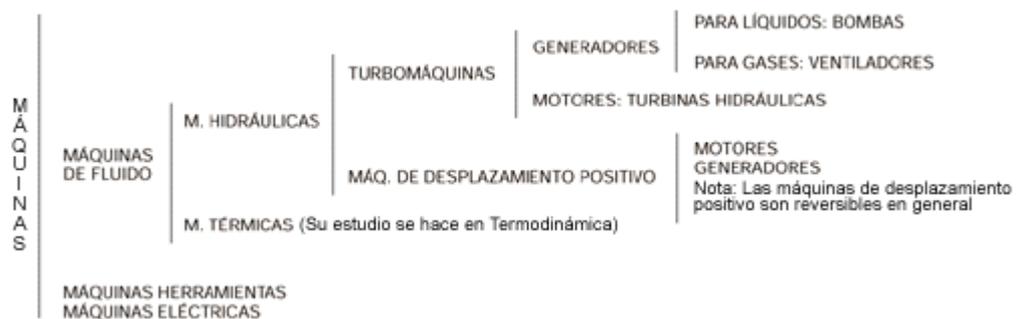
Otros datos que se deben conocer se refieren a la red de alimentación proporcionando:

- tensión (monofásica o trifásica)
- frecuencia (50 o 60 Hz)
- potencia disponible en la red

Igualmente es muy importante tener en cuenta la naturaleza de los materiales o gases que se desean arrastrar. Si los materiales a mover son fibrosos, abrasivos o corrosivos, es posible que se deteriore prematuramente el ventilador y que disminuya su eficacia. Si el aire aspirado lleva vapores ácidos, lo adecuado sería un ventilador protegido de la corrosión; y cuando el motor se encuentre inmerso en la corriente de aire, la protección y clase térmica estarán en consonancia con las condiciones del ambiente.

5.7.7 CLASIFICACION DE VENTILADORES

Dentro de una clasificación general de máquinas, como muestra el cuadro siguiente, encontramos a los ventiladores como turbomáquinas hidráulicas, tipo generador, para gases.



Un ventilador consta en esencia de un motor de accionamiento, generalmente eléctrico, con los dispositivos de control propios de los mismos: arranque, regulación de velocidad, conmutación de polaridad, etc. y un propulsor giratorio en contacto con el aire, al que le transmite energía.

Este propulsor adopta la forma de rodete con alabes, en el caso del tipo centrífugo, o de una hélice con palas de silueta y en número diverso, en el caso de los axiales.

El conjunto, o por lo menos el rodete o la hélice, van envueltos por una caja con paredes de cierre en forma de espiral para los centrífugos y por un marco plano o una envoltura tubular en los axiales. La envoltura tubular puede llevar una reja radial de alabes fijos a la entrada o salida de la hélice, llamada directriz, que guía el aire, para aumentar la presión y el rendimiento del aparato.

En el tipo helicocentrífugo y en el transversal, el elemento impulsor del aire adopta una forma cercana al de los rodetes centrífugos.

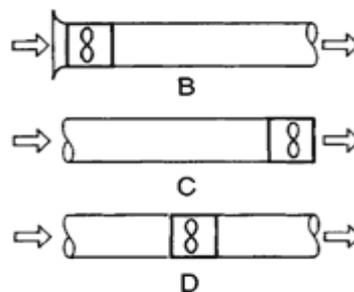
Los ventiladores han venido clasificándose de muy diferentes maneras y no es extraño que un mismo aparato puede aceptar dos, tres o más denominaciones. Es bastante común adoptar la designación atendiendo a alguna de sus características adaptadas al caso que se está tratando. A continuación se va a seguir la siguiente:

- **Atendiendo a su función**

- a) Ventiladores con envolvente.

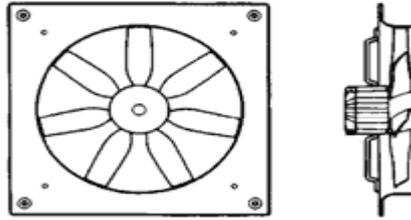
Suele ser tubular. A su vez pueden ser:

- Impulsores: Entrada libre, salida entubada.
- Extractores: Entrada entubada, descarga libre.
- Impulsores-Extractores: Entrada y salida entubadas



Ventiladores con envolvente

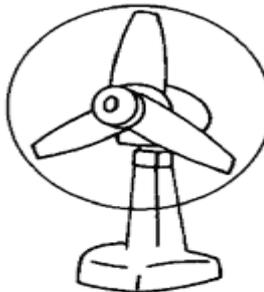
b) Ventiladores murales.



Ventiladores murales

c) Ventiladores de chorro.

Aparatos usados para proyectar una corriente de aire incidiendo sobre personas o cosas.



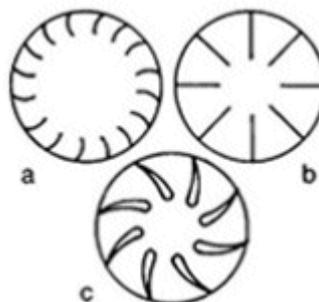
Ventiladores de chorro

- **Atendiendo a la trayectoria del aire**

a) Ventiladores centrífugos.

En estos aparatos la trayectoria del aire sigue una dirección axial a la entrada y paralela a un plano radial a la salida. Entrada y salida están en ángulo recto.

El rodete de estos aparatos está compuesto de alabes que pueden ser hacia adelante (Fig.a), radiales (Fig.b) o atrás (Fig.c).



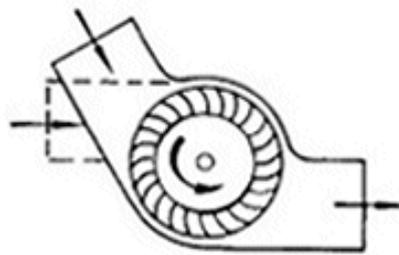
ventiladores centrífugos

b) Ventiladores axiales.

La entrada de aire al aparato y su salida siguen una trayectoria según superficies cilíndricas coaxiales.

c) Ventiladores transversales.

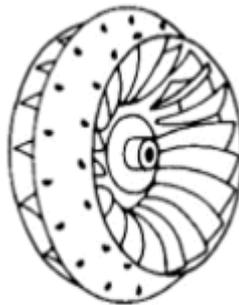
La trayectoria del aire en el rodete de estos ventiladores es normal al eje tanto a la entrada como a la salida, cruzando el cuerpo del mismo.



ventiladores transversales

d) Ventiladores helicocentrífugos.

El aire entra como en los axiales y sale igual que en los centrífugos.

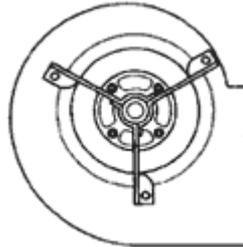


Ventiladores helicocentrífugos

- **Atendiendo a la presión**

- a) Ventiladores de baja presión

Se llaman así a los que no alcanzan los 70 Pascales. Suelen ser centrífugos y por antonomasia se designan así los utilizados en climatizadores.



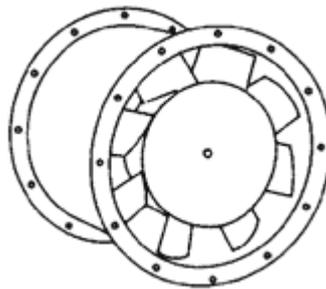
ventiladores de baja presión

- b) Ventiladores de mediana presión.

Si la presión está entre los 70 y 3.000 Pascales pueden ser centrífugos o axiales.

- c) Ventiladores de alta presión.

Cuando la presión está por encima de los 3.000 Pascales. Suelen ser centrífugos con rodetes estrechos y de gran diámetro.

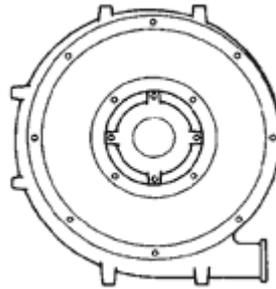


ventiladores de alta presión

- **Atendiendo a las condiciones de funcionamiento**

- a) Ventiladores estándar.

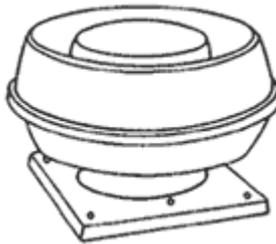
Son los aparatos que vehiculan aire sin cargas importantes de contaminantes, humedad, polvo, partículas agresivas y temperaturas máximas de 40° si el motor está en la corriente de aire.



ventiladores estándar

- b) Ventiladores especiales.

Son los diseñados para tratar el aire caliente, corrosivo, húmedo etc. o bien para ser instalados en el tejado o dedicados al transporte neumático.



ventiladores especiales

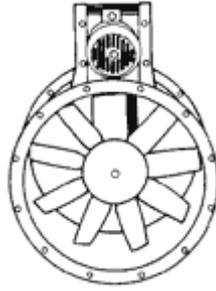
- **Atendiendo al sistema de accionamiento**

- a) Accionamiento directo.

Cuando el motor eléctrico tiene el eje común, o por prolongación, con el del rodete o hélice del ventilador.

- b) Accionamiento por transmisión.

Como es el caso de transmisión por correas y poleas para separar el motor de la corriente del aire (por caliente, explosivo, etc.).



Accionamiento por transmisión

5.7.8 VENTILADORES AXIALES Y CENTRIFUGOS

- **Ventiladores axiales o helicoidales**

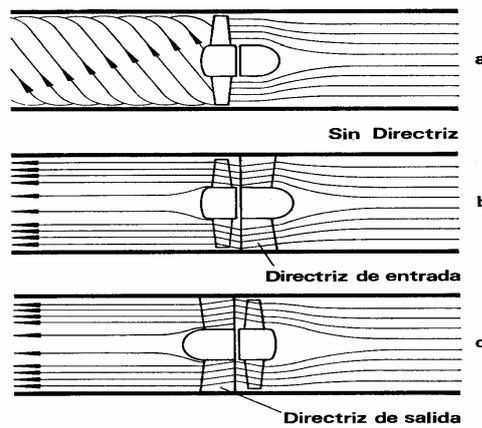
Existen tres tipos básicos de ventiladores axiales: Helicoidales, tubulares y tubulares con directrices.

Los *ventiladores helicoidales* se emplean para mover aire con poca pérdida de carga, y su aplicación más común es la ventilación general. Se construyen con dos tipos de alabes: alabes de disco para ventiladores sin ningún conducto; y alabes estrechas para ventiladores que deban vencer resistencias bajas (menos de 25 mm de c.d.a.). Sus prestaciones están muy influenciadas por la resistencia al flujo del aire y un pequeño incremento de la presión provoca una reducción importante del caudal.

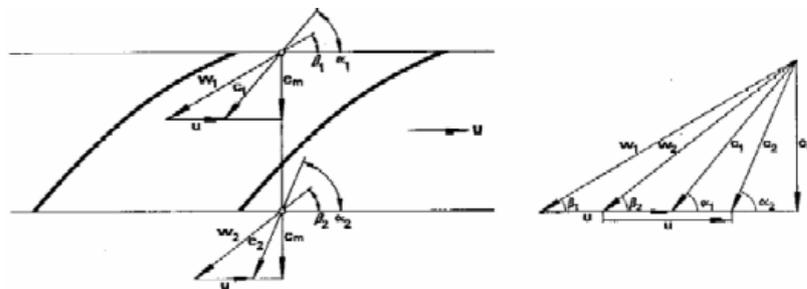
Los *ventiladores tubulares* disponen de una hélice de alabes estrechos de sección constante o con perfil aerodinámico montada en una carcasa cilíndrica. Generalmente no disponen de ningún mecanismo para enderezar el flujo de aire. Los ventiladores tubulares pueden mover aire venciendo resistencias moderadas (menos de 50 mm de c.d.a.).

Los *ventiladores tubulares con directrices* tienen una hélice de alabes con perfil aerodinámico montado en una carcasa cilíndrica que normalmente dispone de aletas enderezadoras del flujo de aire en el lado de impulsión de la hélice. En comparación con los otros tipos de ventiladores axiales, éstos tienen un rendimiento superior y pueden desarrollar presiones superiores (hasta 200 mm de c.d.a.). Están limitados a los casos en los que se trabaja con aire limpio.

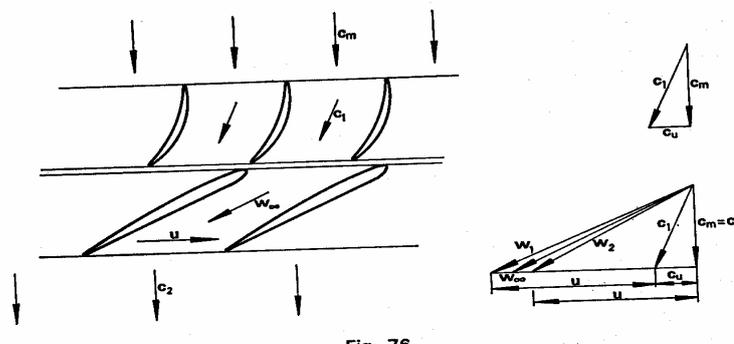
Las directrices tienen la misión de hacer desaparecer la rotación existente o adquirida por el fluido en la instalación, a la entrada del rodete o tras su paso por el mismo. Estas directrices pueden colocarse a la entrada o a la salida del rodete, incluso las hay móviles. Han de ser calculadas adecuadamente pues, aunque mejoran las características del flujo del aire haciendo que el ventilador trabaje en mejores condiciones, producen una pérdida de presión adicional que puede condicionar el resto de la instalación. Además, pueden ser contraproducentes ante cambios importantes del caudal de diseño.



Efecto de las directrices sobre las líneas de corriente a entrada y salida del rodete axial



Triángulos de velocidades en un ventilador axial sin directrices.



Efecto de las directrices a la entrada. La corriente a la entrada se gira convenientemente para hacerlo coincidir en dirección con la del perfil del rodete.

- **Ventiladores radiales o centrífugos**

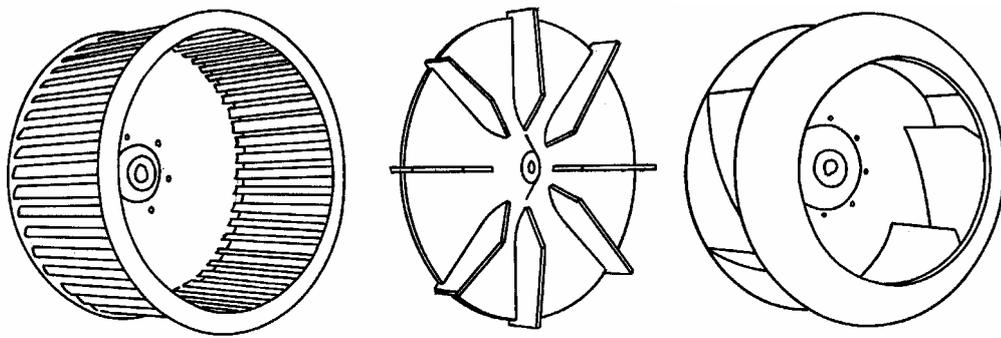
En los ventiladores centrífugos la trayectoria del fluido sigue la dirección del eje del rodete a la entrada y está perpendicular al mismo a la salida. Si el aire a la salida se recoge perimetralmente en una voluta, entonces se dice que el ventilador es de voluta.

Estos ventiladores tienen tres tipos básicos de rodetes:

1. alabes curvados hacia adelante,
2. alabes rectos,
3. alabes inclinados hacia atrás / curvados hacia atrás.

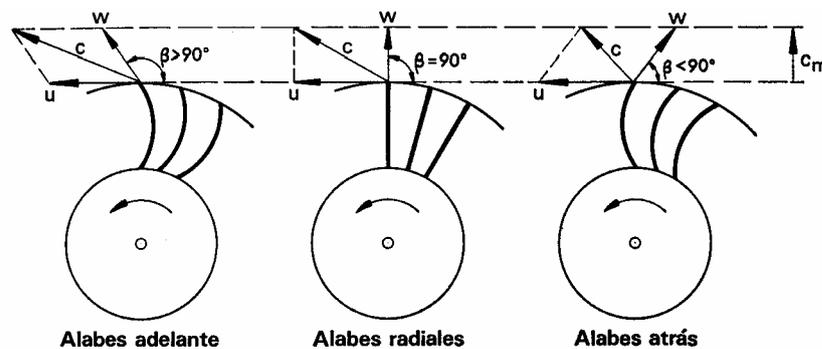
Los ventiladores de alabes *curvados hacia adelante* (también se llaman de jaula de ardilla) tienen una hélice o rodete con las alabes curvadas en el mismo sentido que la dirección de giro. Estos ventiladores necesitan poco espacio, baja velocidad periférica y son silenciosos. Se utilizan cuando la presión estática necesaria es de baja a media, tal como la que se encuentran en los sistemas de calefacción, aire acondicionado o renovación de aire, etc. No es recomendable utilizar este tipo de ventilador con aire polvoriento, ya que las partículas se adhieren a los pequeños alabes curvados y pueden provocar el desequilibrado del rodete.

Estos ventiladores tienen un rendimiento bajo fuera del punto de proyecto. Además, como su característica de potencia absorbida crece rápidamente con el caudal, ha de tenerse mucho cuidado con el cálculo de la presión necesaria en la instalación para no sobrecargarlo. En general son bastante inestables funcionando en paralelo vista su característica caudal-presión.



Ventiladores centrífugos de alabes curvados hacia delante, radiales y atrás.

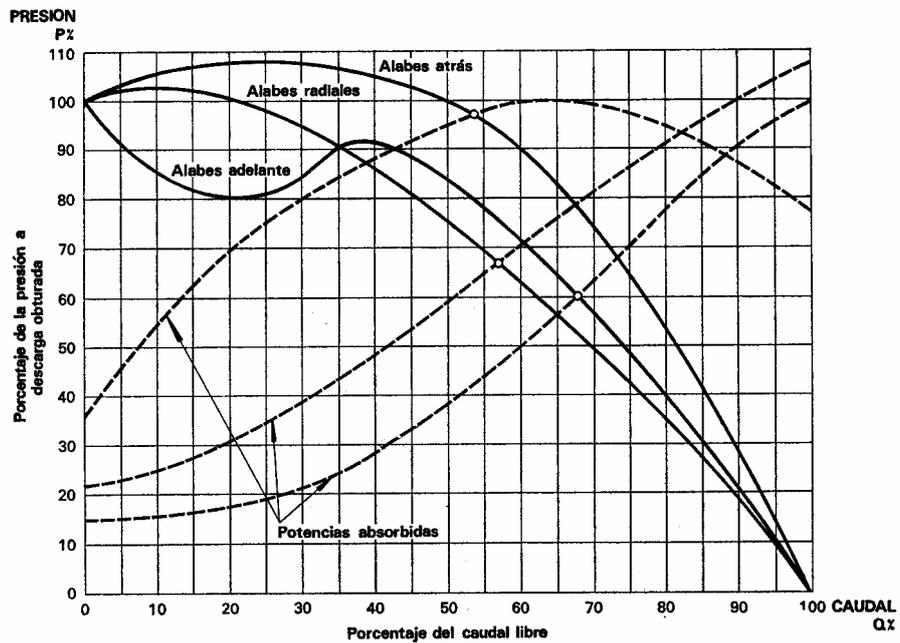
Los ventiladores centrífugos *radiales* tienen el rodete con los alabes dispuestas en forma radial. La carcasa está diseñada de forma que a la entrada y a la salida se alcanzan velocidades de transporte de materiales. Existe una gran variedad de diseños de rodetes que van desde los de "alta eficacia con poco material" hasta los de "alta resistencia a impacto". La disposición radial de los alabes evita la acumulación de materiales sobre las mismas. Este tipo de ventilador es el comúnmente utilizado en las instalaciones de extracción localizada en las que el aire contaminado con partículas debe circular a través del ventilador. En este tipo de ventiladores la velocidad periférica es media y se utilizan en muchos sistemas de extracción localizada para vehicular aire sucio o limpio.



Triángulos de velocidades a la salida para los distintos rodetes centrífugos

Los ventiladores centrífugos de alabes curvados hacia atrás tienen un rodete con las alabes inclinados en sentido contrario al de rotación. Este tipo de ventilador es el de mayor velocidad periférica y mayor rendimiento con un nivel sonoro relativamente bajo y una característica de consumo de energía del tipo "no sobrecargable". En un ventilador "no sobrecargable", el consumo máximo de energía se produce en un punto próximo al de rendimiento óptimo de forma que cualquier cambio a partir de este punto debido a cambios de la resistencia del sistema resultará en un consumo de energía menor. La forma de los alabes condiciona la acumulación de materiales sobre ellas, de forma que el uso de estos ventiladores debe limitarse como se indica a continuación:

- alabes de espesor uniforme: Los alabes macizos permiten el trabajo con aire ligeramente sucio o húmedo. No debe emplearse con aire conteniendo materiales sólidos ya que tienen tendencia a acumularse en la parte posterior de los alabes.
- alabes de ala portante: Los alabes de ala portante permiten mayores rendimientos y una operación más silenciosa. Los alabes huecos se erosionan rápidamente y se pueden llenar de líquido si la humedad es alta, por ello su uso queda limitado a aplicaciones en las que se manipule aire limpio.



Curvas características relativas para ventiladores centrífugos. No se observa en la figura, pero las características de “alabes adelante” pasan por encima de las otras dos en valor absoluto.

6. TRATAMIENTO DE RESIDUOS

6.1 INTRODUCCIÓN

Los residuos generados en las diferentes actividades industriales son una de las principales fuentes de impacto ambiental. Entre ellos se encuentran los residuos de madera que a través de las empresas recuperadoras de madera pueden ser valorizados de acuerdo con las prioridades fijadas por la legislación (ley 10/1998 de 21 de Abril de Residuos). Tradicionalmente los residuos de madera se han considerado como inocuos para el medio ambiente debido a su carácter natural y no peligroso. Destinos tradicionales para estos residuos han sido tanto la incineración incontrolada como el depósito en vertedero. De hecho, estos siguen siendo destinos que compiten con su recuperación y reciclado.

Los residuos de madera procedentes del aserradero se componen de cortezas, serrín, madera partida y virutas.

Tras un proceso de recogida y tratamiento los residuos de madera son destinados a la fabricación de tablero aglomerado y de partículas, fabricación de compost, aprovechamiento energético, camas de ganado, etc.

La recuperación y reciclado de madera contribuye al medio ambiente porque:

- disminuye considerablemente el porcentaje de madera virgen empleada en la fabricación de tableros de partículas, con lo que aumenta el respeto hacia los montes existentes.
- Si se emplea en la fabricación de compost mejora sensiblemente su calidad.

- Las emisiones de CO₂ que provoca la generación de calor con biocombustibles (cortezas, serrín), se suman al ciclo del CO₂ del propio bosque y no contribuyen a aumentar el efecto invernadero.
- Se disminuye considerablemente la ocupación de vertederos, ya que un tipo de residuo considerado como voluminoso.
- Se fomenta la conciencia ecológica de la sociedad.
- Además, se generan puestos de trabajo.

Todavía queda mucho por trabajar con este tipo de residuo en lo que a concienciación de la sociedad y de la administración se refiere.

6.2 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA

A diferencia de la mayor parte de otras industrias, las forestales tienen la ventaja de poder utilizar sus propios residuos para contribuir a cubrir sus necesidades energéticas. En el tratamiento mecánico de la madera, la mayor parte de sus necesidades de energía térmica pueden atenderse con los residuos disponibles; es más, la industria del aserrado tienen las posibilidades de producir un excedente de calor y electricidad y, por lo tanto podría ayudar a otros procesos de transformación deficientes de energía en un complejo integrado que produzca, por ejemplo, madera aserrada, tableros contrachapados, o podría también, en las zonas rurales, suministrar energía para necesidades del vecindario.

A lo largo de los años, muchos aserraderos han considerados los residuos de madera como un subproducto engorroso de la operación del aserrado con su consiguiente eliminación para relleno de terrenos o incinerándolos en quemadores. Sin embargo estos destinos se han convertido últimamente en problemas medio ambientales contenciosos y todo ello combinado con el aumento de los costos energéticos, ha hecho que se piense seriamente en las ventajas de emplear los residuos como fuente alternativa de combustible. Esto ha coincidido también con el aumento de la demanda de residuos como material para la fabricación de pastapapel y tableros, dado el aumento del costo de la madera sólida y su mayor competitividad.

Las formas de obtener energía empleando los residuos de madera como materia prima son fundamentalmente combustión, gasificación y pirolisis.

Actualmente, la mayoría de las instalaciones de elaboración de la madera que se construyen en los países desarrollados incorporan quemadores de serrín para ahorrar así determinados suministros costosos de materiales fósiles. En los casos que el volumen de residuos producidos no es suficiente para cubrir las necesidades térmicas de la instalación se compran serrín y/o fueloil para cubrir el resto. Sin embargo, en los países en desarrollo se emplea poco el potencial energético de los residuos del aserrado, debiéndose esto en parte a la mínima utilización que se hace del secado en hornos y las inversiones que supone la instalación de la planta termogeneradora.

En la siguiente tabla se muestran características medias y propiedades de algunos residuos de la industria de la madera:

Tipo de biomasa	PCI- Poder calorífico medio (Kcal/Kg)	Densidad media aparente (Kg/m ³)	Humedad media (%base de humedad)	Kg de biomasa equivalente a Kg de gasoleo
Serrín humedo	2500	220	35	4,0
Serrín seco	3500	160	10	2,8
Viruta húmeda	2500	110	35	4,0
Viruta seca	3250	90	15	3,0
Cortezas no resinosas, verdes	2000	450	50	5,0
Cortezas pino	2000	200	40	5,0
Polvo de lijado	4000	280	5	2,5
Restos de carpinterías	3500	150	10	2,8
Restos maderas secas	4500	300	10	2,2
Chapas secas tablero contrachapado	3500	130	5	2,8
Recortes chapas finas secas	3000	120	10	3,3

Aunque el calor producido con residuos de madera es inferior al porcentaje del petróleo o gas, su coste en comparación con los combustibles fósiles lo hace una fuente interesante de calor y energía. A pesar de la creciente competencia que hay con los residuos para dedicarlos a otros usos, el aumento previsto en sus precios en los próximos años será indudablemente inferior al previsto para los combustibles tradicionales. Aunque la manipulación, elaboración y combustión de los residuos puede suponer un mayor desembolso de capital, los grandes avances que se han hecho y las técnicas nuevas y mejoradas y en el diseño de plantas están ahora convirtiéndolo en una fuente de combustible económicamente interesante.

Las calderas modernas que usan residuos de madera son dispositivos de alta tecnología que se alimentan de combustible automáticamente desde un silo, lo queman a alta temperatura con un control electrónico de suministro del aire y pueden proporcionar más del 90 % de la energía contenida en la madera para la calefacción. Esto puede compararse con el rendimiento de, tal vez, el 10 % de una chimenea o un rendimiento del 50 % de una caldera convencional de madera. Las modernas calderas de biomasa no producen humos visibles y sus emisiones son casi tan bajas como las emisiones de calderas de gas natural. El estado actual de los modelos incluye la limpieza mecánica automática de las superficies del intercambiador de calor y la retirada automática de cenizas. Algunos modelos comprimen estas cenizas siendo sólo necesario retirar las cenizas dos veces al año.

El aprovechamiento tan eficaz que se hace de los residuos de la madera, especialmente en los aserraderos, juega un papel importante en la producción eficaz de energía y puede muchas veces convertirse en un factor notable a la hora de determinar si un aserradero funciona con beneficios o pérdidas.

Cuando se piensa en utilizar residuos de madera como fuente de energía, ya sea solo para suministrar calor, para el secado en hornos o para calor y energía utilizables en un complejo integrado, se tiene que estudiar detalladamente los siguientes factores que pueden influir en la viabilidad económica de la empresa:

- Costes actuales y costes futuros previstos de las fuentes tradicionales de energía y disponibilidad.
- Necesidades de energía de la instalación.

- Disponibilidad y fiabilidad de los suministros de residuos, coste, tipo, tamaño, contenido en humedad y proporción de elementos extraños.
- Coste de capital del equipo necesario para recoger, tratar y quemar los residuos de madera
- Coste que supone la eliminación de los residuos
- Valor de reventa de los residuos, materia prima para la fabricación de tableros o pastas, etc.

Solo realizando un estudio de todos los factores mencionados anteriormente y del tipo y tamaño de instalación, así como del aprovechamiento mejor posible del calor y energías excedentes, es como se puede diseñar un sistema eficaz de manipulación, tratamiento y combustión de residuos en el que el rendimiento de la inversión justificaría el capital desembolsado. No sería lógico invertir en una instalación cuando los costes de capital y funcionamiento superen los beneficios que se obtendrían de utilizar los residuos de combustibles.

Aunque los residuos pueden representar una fuente gratuita de combustible, no son una fuente gratuita de energía. El coste del equipo, la manipulación, tratamiento y combustión de los residuos, junto con los de mano de obra y mantenimiento, pueden ser un suplemento caro para los gastos de funcionamiento de una fábrica y los desembolsos de capital pueden resultar ser excesivos para algunos pequeños aserraderos.

6.3 APROVECHAMIENTO DEL SERRÍN PARA FABRICACIÓN DE COMPOST

El compost es lo que se produce cuando los materiales de origen vegetal o animal se biodegradan o pudren por la acción de millones de bacterias, hongos y otros micro organismos, permitiendo obtener abono para la agricultura. Estos materiales de origen animal o vegetal se llaman orgánicos.

Existen muchos materiales apropiados para el compostaje, entre ellos se encuentran el serrín y las virutas.

El *serrín* es un material, en general, con bajo contenido en humedad y alto contenido en carbono, su degradabilidad es de moderada a pobre. En general, es buen

absorbente de humedad y olores. Normalmente está disponible a bajo coste. Se trata de un componente del compostaje de bueno a moderado.

Las *astillas de madera* suelen ser un material seco y con alto contenido en carbono. Tienen gran tamaño de partícula, lo que proporciona una excelente estructura pero muy baja degradabilidad. En general, se utilizan como agente "bulking" (de relleno, para dar volumen) en el compostaje con aireación forzada. Debe separarse al final del compostaje pero puede utilizarse, su coste es moderadamente bajo

6.4 FABRICACION DE TABLEROS AGLOMERADOS CON LOS RESIDUOS

La fabricación de tablero aglomerado representa actualmente el 90% del destino de astillas, serrín y virutas obtenidas por las empresas recuperadoras de residuos. La fabricación de tablero aglomerado contribuye de forma determinante al alargamiento del ciclo productivo de la madera, de una forma limpia y segura. Las fábricas de tableros adecuan cada vez más sus tecnologías para poder procesar residuos de madera en lugar de madera virgen

El proceso de fabricación de estos tableros de madera reciclada es sencillo y recursivo desde el origen hasta su distribución. El primer paso es la recolección del residuo, luego estos son transportados hasta la planta de secado, donde se les realiza un proceso de secado para regular su contenido de humedad hasta que la humedad se equilibre con la ambiente. A continuación se transportan hasta la fábrica de procesos, donde son homogeneizados granulométricamente con un molino de martillos por tamiz. En la tercera parte del proceso, el material se combina de acuerdo a medidas de peso y densidad de manera que se logre unos niveles ideales. El siguiente paso es llevar el material a una mezcladora por pulverización, la intención de esta fase es aplicar a los materiales una resina que hace posible la aglomeración. Luego se pasa a la fase de premoldeado o preprensado, esta fase se realiza con una prensa hidráulica. El aglomerado tiene ya dureza, pero es indispensable someter la lámina a un nuevo prensado en frío para buscar la rectitud y la firmeza del producto. El tablero ya está preparado para entrar en la última parte del proceso donde con una escuadradora se recortan los cuatro lados de la lámina a una medida comercial. El resultado final del

proceso es un aglomerado de medida comercial con resistencia físico – mecánica aceptable para ser utilizado en la fabricación de muebles y en construcción.

El proceso no requiere maquinaria especial, las prensas son iguales a las empleadas en otras empresas que aprovechan material reciclado.

6.5 OTROS USOS DEL SERRÍN

Otros empleos dados a los subproductos de la industria maderera, como es el caso del serrín, son los siguientes:

- Empleo para la alimentación de ganado: el empleo de estos ha dado resultados muy variables y contradictorios, aunque por lo general muy pobres, cuando no negativos. En general se tratan de alimentos muy pobres para que se generalice su aprovechamiento en la practica. Se puede decir que además de servir para aumentar el volumen de la ración, tienen una cierta utilidad como alimento energético para los rumiantes si se les suplementa con las proteínas, los minerales y las vitaminas que les faltan, y en especial si se les somete a tratamiento químico o biológico o a ambos, para los que se prestan bien por su grado de fragmentación.
- Uso del serrín como sustrato de cultivos: el serrín es un sustrato (soporte de las plantas en los cultivos sin suelo) ampliamente utilizado en zonas con industria forestal, debido a su bajo coste, buena retención de humedad y alta disponibilidad.
- Camas de ganado: este destino representa un porcentaje muy bajo en el total de los usos de los residuos de madera. Los suelen emplear en las granjas como camas de ganado.
- Como filtros para recoger los aceites obtenidos en el proceso de desaceitado en la depuración de aguas residuales. Estos filtros de serrines de madera una vez utilizados son incinerados o enterrados.

7. INSTALACIONES Y EQUIPOS

7.1 CAMPANA

La campana seleccionada para el propósito del presente proyecto ha sido una campana extractora, ya que este tipo de campana aunque son las que requieren mayor caudal de aire son las de uso más generalizado ya que se pueden adaptar a cualquier tipo de foco.

Las campanas extractoras, como ya se mencionó en el apartado 5.4 del presente proyecto, han de crear unas corrientes direccionadas de aire con la suficiente velocidad para capturar los contaminantes que incluso se emitan en la dirección opuesta a la que está la campana. Esta velocidad de captura depende de las condiciones de dispersión del contaminante, en este caso el contaminante se genera activamente dentro de una zona de rápido movimiento del aire, por lo que se ha tomado el dato de 1 m/s como velocidad de captura. Dicho dato ha sido tomado de la bibliografía.

Las dimensiones de la campana han sido condicionadas por el tamaño de la máquina pulidora, de la cual captura la materia particulada la campana. Las dimensiones son: 1,15 x 0,80 m² de superficie y 0,45 m de alto. Estas dimensiones están justificadas con el objetivo de encerrar al máximo posible el foco contaminante, ya que el caudal de aire a extraer será tanto menor cuanto más encerrado quede dicho foco en el interior de la campana. La representación gráfica se muestra en el plano número 3.

Para el diseño de la campana, la distancia entre esta y el foco contaminante debe ser la mínima posible por lo que se ha tomado un 1 m, que es el mínimo espacio que se considera suficiente para que un trabajador pueda realizar su labor cómodamente.

Para la velocidad de transporte en el conducto de la campana se ha tomado un valor de 20 m/s, después de consultar varios documentos de la EPA y distintas bibliografías.

El caudal de aspiración y el diámetro del conducto de la campana han sido calculados en el anexo de cálculos de la presente memoria y se ha obtenido un valor de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ para el caudal y 0,356 m para el diámetro.

El material para fabricar la campana es acero al carbono AISI 1030, ya que este tipo de acero es recomendado para estructuras sometidas a un impacto moderado.

7.2 TUBERIAS Y ACCESORIOS

Las tuberías serán de acero al carbono AISI 1030 y cumplen con las normativa ANSI B36.10: 1970 y BS 1600: Parte 2: 1970.

El acero al carbono consiste en un compuesto de hierro con un porcentaje de carbono menor del 1,7% (normalmente del 0,3 al 0,4%) y cantidades reducidas y variables de manganeso, fósforo, azufre y silicio.

La composición química de acero al carbono AISI 1030 es la siguiente: 0,27 – 0,34 % de carbono, 0,60 – 0,90% de manganeso, un máximo de 0,30% de fósforo, 0,035% máximo de azufre y 0,35% máximo de sílice.

Las características más importantes del acero al carbono son: resistencia a altas temperaturas, resistencia al choque, resiliencia, tenacidad, maquinabilidad, y sobre todo el ser forjable y la soldabilidad.

Así mismo los accesorios tales como codos, T, etc... serán del mismo material que las tuberías. Las válvulas utilizadas serán de mariposa, ya que estas son recomendadas para apertura o cierre total, estrangulamiento, operación frecuente y baja caída de presión a través de la válvula. Además estas válvulas presentan bajo coste, mantenimiento mínimo y alta capacidad.

El diseño del sistema de conductos será tal que la velocidad del gas que circule a través de la tubería principal esté entre 15 y 25 m/s.

Los diámetros, longitudes y espesores de cada tramo del sistema de conductos están especificados y han sido calculados en el apartado de calculo de tuberías, del anexo de cálculos de la presente memoria.

7.3 VENTILADOR

El ventilador seleccionado para el sistema de aspiración es un ventilador centrífugo, ya que estos trabajan a presiones más elevadas, son más silenciosos y tienen un alto rendimiento.

La elección del ventilador adecuado se ha realizado en función de: del caudal de aire necesario, de la presión total, que no sobrepasen el valor máximo en la escala de nivel sonoro (80 dB) y de consideraciones económicas.

Para ello se ha calculado la potencia del ventilador en el apartado 3 del anexo de cálculos de la presente memoria.

La potencia total absorbida por el ventilador será la suma de la potencia necesaria para mover el aire por las tuberías más la pérdida de carga generada por el ciclón.

El ventilador ha sido seleccionado del catálogo general de la empresa Sodeca y se ha llegado a la conclusión que el ventilador que mejor se adapta a este sistema es un ventilador centrífugo de mediana presión mas concretamente el modelo CMP-1845-4T-10. Sus características técnicas son las siguientes:

<u>Modelo</u>	<u>Velocidad</u> (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (Kw)	Caudal Máximo (m ³ /h)	Nivel sonoro dB(A)	Peso aprox. (Kg)
CMP-2050-4T-12,5	1400	230V	400V	9,20	11500	79	178
		30,80	17,80				

- **Accesorios del ventilador**

Dos bridas de acoplamiento doble, una para la boca de aspiración y otra para la de impulsión. Estas bridas han sido seleccionadas también del catalogo de Sodeca S.A. y corresponden al modelo BD-400.

7.4 CICLON

El equipo de captación mecánica seleccionado para este sistema de depuración de aire es un ciclón. Este recolector mecánico, cuyo nombre técnico más acertado es separador centrífugo de polvo, es una máquina que utiliza la inercia para remover las partículas de la corriente de gas.

Para llegar a la conclusión de la elección del ciclón, éste ha sido comparado con una cámara de sedimentación y con un filtro tejido, en el apartado 4 del anexo de cálculos de la presente memoria.

La corriente de gas entra al ciclón con una velocidad de 22,25 m/s y un caudal de 2,88 m³/s.

Las dimensiones del ciclón son las siguientes:

- La boca de entrada al ciclón tiene una altura de 0,509 m y una anchura de 0,2545 m.
- El diámetro del ciclón es de 1,018 m.
- Las restantes dimensiones del ciclón, que se pueden obtener a partir del diámetro del mismo, son:

$$D_e = 0,509 \text{ m}$$

$$L = 2,036 \text{ m}$$

$$S_c = 0,127 \text{ m}$$

$$J_c = 0,2545 \text{ m}$$

$$S = 0,636 \text{ m}$$

La representación gráfica detallada del ciclón se muestra en el plano número 4.

El tamaño de partícula que es capaz de recolectar el ciclón con una eficacia del 80% ($\eta=0,8$) es de 9,76 μm , es decir, que la partícula más pequeña que puede recolectar este ciclón con una eficacia del 80% es de 9,76 μm de diámetro.

7.5 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

- **Descripción**

La materia particulada (serrín) que se almacenan en este tanque provienen de la corriente de aire aspirado por el sistema de depuración, previamente separado por el ciclón.

Para el diseño del tanque se ha utilizado el código ASME, sección VII, para cálculo de recipientes a presión. El tanque es cilíndrico, vertical, con la cabeza plana y el fondo toriesférico tipo Klopper. El material es acero al carbono AISI 1030, material recomendado por el código para diseño de tanques a presión. Los cálculos necesarios para el diseño del tanque se recogen en el capítulo de anexos de la actual memoria, la representación gráfica detallada es el plano número 5.

Los parámetros utilizados y dimensiones obtenidas en el cálculo del tanque:

- Diámetro interior. D: 3200 mm
- Altura. H : 3000 mm
- Tanque vertical, cilíndrico.
- Fondo toriesférico tipo “Klopper”.
- Temperatura de operación: temperatura ambiente.
- Temperatura de diseño. T: 25 °C (77°F)
- Presión externa de diseño: 15 psi
- Presión de operación: presión atmosférica
- Presión de diseño. P : 3,5 Kg/cm²
- Volumen útil, V: 24,1 m³
- Densidad de las partículas: 830 Kg/m³
- Material : acero al carbono tipo AISI 1030. Composición: 0,28-0,34% C, 0,06-0,09% Mn, 0,04% Pmáximo y 0,05% Smáximo
- Tensión admisible de diseño. σ : 970,5 Kg/cm²
- Carga de rotura: 3867,8 Kg/cm²
- Límite elástico: 2109,7 Kg/cm²
- Sobreespesor para la corrosión. C: 3 mm (para aceros al carbono).

- Eficacia de la soldadura: 0,55.

- **Accesorios**

- **Bridas**

Según *Especificaciones de Cepsa*, todas las bridas serán de Cuello Soldable en rating de 300 lb en tamaños de 50 mm y mayores, que es el tamaño mínimo de conexión permitido, de acuerdo con la *Norma ASME/ANSI B 16.5*.

El tanque cuenta con una brida de entrada, proveniente de la descarga del ciclón. Esta brida se situara en el techo del tanque, que es por donde se llenara. Otra brida en el fondo, que será la encargada de sacar el serrín. Ambas bridas tienen las mismas dimensiones. Son bridas de 300 lb. Existen dos bridas más correspondientes a los rebosaderos de seguridad y normal, también son bridas de 300 lb pero de menor diámetro.

- **Patas**

Las patas que aguantan al tanque deberán ser capaces de soportar todo el peso del tanque. Para su elección, se sigue el Código ASME, sección VIII. Según el Código, para este tipo de tanque se elegirán 6 patas con perfil laminar en forma de I con unas dimensiones de 280 x 19 mm.

- **Soldadura**

La soldadura seleccionada para la unión de las chapas que constituyen el tanque de acero al carbono, es la soldadura por arco manual con electrodos revestidos, SMAW (Shielded Metal Arc Welding).

La *selección* se ha basado primeramente en estudiar cual de los distintos tipos de soldadura es el más adecuado cuando el metal base es acero al carbono y a continuación realizar la comparación entre los procesos resultantes que fueron: SMAW y MAG (la soldadura por arco bajo gas activo protector con electrodo consumible). El resultado de dicha comparación fue que aunque el proceso MAG es un proceso automático, el proceso SMAW ofrece: gran versatilidad, equipo de soldadura portátil y el bajo coste inicial de dicho equipamiento. Criterios que hacen que esta soldadura sea útil en

fabricación e instalaciones, además es el tipo de soldadura mencionada por el código ASME Sec IX “Boiler and pressure vessel code” para la fabricación de recipientes a presión.

El *proceso SMAW* se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto. Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma o varilla del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.

El *electrodo* formado por varilla metálica, generalmente de acero, recubierta de un revestimiento. Los diámetros más utilizados de la varilla son de 2.5, 3.25, 4 y 5 mm. La naturaleza, dosificación y origen de los componentes del revestimiento permanece en secreto por parte del fabricante que se limita a garantizar la composición química del metal depositado y sus características mecánicas. Utilizaremos en el proceso los electrodos básicos ya que ofrecen una gran resistencia al agrietamiento en caliente. Los más utilizados y clasificados dentro de AWS (American Welding Society) para soldar acero al carbono son: AWS-E-7015 (Na) y AWS-E-7016 (K).

Siendo el espesor de chapa a soldar de 15mm, se realizará la unión a tope en V formando un ángulo de 50°. Las posiciones serán: 4G (chapa horizontal, soldadura bajo techo), 2G (chapas verticales con eje de soldadura horizontal) y 3G (chapas verticales con eje de soldadura vertical).

○ **Boca de inspección**

El tanque dispondrá de una boca de hombre para poder acceder a su interior en caso de limpieza o inspección. Esta boca de hombre se situará en la cabeza del tanque, a una distancia del centro de 500 mm y tendrá un diámetro de 500 mm aproximadamente, siendo éste el mínimo según las *Especificaciones de Cepsa*. Se colocará de forma que se eviten riesgos personales que pudieran producirse al entrar o salir el personal. Para estas operaciones se dispondrán de escaleras y asideros que las faciliten.

○ **Venteo**

Según normativa (APQ 001) todo tanque o depósito de almacenamiento de superficie tendrá alguna forma constructiva o dispositivo que permita aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior. En tanques verticales, la forma constructiva, puede ser techo flotante, techo móvil, unión débil del techo o cualquier otra solución establecida en códigos de reconocida solvencia.

En nuestro caso la boca de hombre del tanque situada en la cabeza, provoca que parte del techo sea móvil y por tanto se utilizará como venteo.

8. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA

8.1 INTRODUCCIÓN

La distribución en planta de las instalaciones se ha llevado a cabo realizando un estudio para obtener la mayor cantidad de ventajas de la distribución obtenida frente a otras. De ésta forma se obtienen costes mínimos, la superficie requerida será mínima y por tanto mínimos también los costes de producción.

Se ha tenido presente la reglamentación sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo, para minimizar el riesgo, considerando entre otros conceptos:

- Espacio mínimo por operario.
- Pasillos de circulación de anchuras adecuadas y direccionales.
- Redes de distribución y mantenimiento situadas a distintos niveles.
- Ubicación correcta y protegida de los elementos peligrosos.
- Salidas de emergencia.
- Servicios contra incendios adecuados.

Todo ello produce una sensación real de seguridad, con lo que se logra simultáneamente una mayor sensación de confortabilidad en los operarios, lo que a su vez se traduce en un aumento de su rendimiento.

Para la distribución en planta se han cumplido los siguientes principios:

- Principio de Racionalidad: La distribución en la planta se basa en una buena coordinación e integración de los elementos básicos de la producción (máquinas, hombres y materiales) en un todo conjuntado.
- Principios de Economía: Los más importantes son:
 - *Recorrido mínimo y continuo*: Se ha logrado que los recorridos sean lo menores posibles minimizando el gasto por tramos de tuberías.
 - *Aprovechamiento del espacio*: Se ha buscado el mayor aprovechamiento del espacio en las tres dimensiones, lo que rebajará el coste de las instalaciones
- Principios de Previsión de Futuro: existen dos principios considerados los más fundamentales:
 - *Flexibilidad de la planta*: se ha proyectado la planta de forma que sus instalaciones tengan la máxima flexibilidad, para poder variar con facilidad su posición o situación en caso necesario.
 - *Posibilidad de ampliación*: Se ha planteado la distribución de forma que sean factibles futuras ampliaciones de las instalaciones.
- Principio de Máxima Seguridad: Los puestos de trabajo, las máquinas y las instalaciones se han proyectado de forma que se garanticen la máxima seguridad y satisfacción de los operarios.

8.2 DISTANCIAS ENTRE EQUIPOS

Las distancias mínimas entre las distintas máquinas que están instaladas en la nave, no podrán ser inferiores a los valores que indica el Real Decreto 486/1997 de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

A continuación se pueden ver claramente las distancias entre equipos en metros.

- Sierra – retesteadora 2,98 m
- Sierra – canteadora 3,15 m
- Sierra – lijadora 7,57 m
- Retesteadora – lijadora 4,77 m
- Retesteadora – canteadora 3,33 m
- Lijadora – canteadora 4,20 m

9. MANTENIMIENTO

9.1 INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de la unidad resulta decisivo para su correcto funcionamiento. Según datos estadísticos se puede decir que las razones principales por las que una planta no funciona bien son la falta de presupuesto para el mantenimiento y la conservación de las mismas.

Si se analizan las causas del mal funcionamiento de las plantas se obtienen los siguientes datos:

- Mal funcionamiento por defectos de construcción y proyecto: 31%.
- Mal funcionamiento por anomalías en la red de distribución: 34%.
- Mal funcionamiento por fallos en mantenimiento y explotación: 35%.

De ahí que el mantenimiento sea un factor a tener muy en cuenta para el éxito de la alternativa elegida.

La planta se gestionará diariamente bajo el principio de que la responsabilidad última en todos los asuntos residirá en el Jefe de Planta, que deberá tomar las decisiones relativas al control del proceso de tratamiento. Las consideraciones sobre operación y mantenimiento también serán de su incumbencia.

El personal de explotación, mantenimiento y conservación empezará a formarse durante la puesta en servicio, y continuará su formación durante las primeras semanas de operación. En este periodo será fundamental el apoyo técnico que se prestará por personal especializado.

9.2 MANTENIMIENTO GENERAL

Se recogerán aquellas actividades que conducen en preservar y aumentar la vida media de los equipos de la instalación, y a efectuar reparaciones cuando éstos fallen.

Las actividades rutinarias de mantenimiento consistirán en prestar atención a la lubricación, engrases, reposición de niveles, purgas de condensados, comprobación de presiones de operación, niveles de corriente eléctrica, comprobación del funcionamiento de válvulas, compuertas y demás mecanismos de accionamiento normal, inspección de ruidos y vibraciones extrañas, y comprobación del buen funcionamiento general de todos los mecanismos que constituyen la instalación. Las actividades planificadas de servicio y reparación se llevarán a cabo según un programa determinado que sólo se interrumpirá por necesidades de reparación de averías que puedan ocurrir ocasionalmente, cuya solución se determinará prioritaria.

9.3 MANTENIMIENTO ESPECÍFICO

En este apartado se detallan las actividades de mantenimiento que se le deben hacer a cada uno de los equipos:

- **Ventilador**

Los pasos a dar para conservar y controlar la eficacia del ventilador bajo una inspección periódica que evite, por lo menos, una probable avería y mantenga una actividad continuada son:

Control diario: es recomendable tomar lecturas cada una o dos horas de temperaturas y vibraciones de cojinetes, presiones y niveles de aceite, así como observar si hay posibles ruidos anormales, funcionamiento de anillos de lubricación y cualquier otra anomalía que sea captada.

Revisión semestral: es conveniente revisar la alineación entre el eje del motor y el eje del ventilador, pues ello es causa frecuente de desgaste en los cojinetes y de que sea necesaria su reparación o sustitución con excesiva repetición.

Revisión anual: es conveniente plantearse anualmente un examen completo de las partes vitales del ventilador, como puede ser:

- revisar totalmente los cojinetes desmontándolos y explorándolos detenidamente para detectar rayas, grietas, arrastre de antifricción, etc. También se comprobaran sus tolerancias, por si hubiese existido un desgaste excesivo.
- Las carcasas de los cojinetes deberán ser limpiadas y revisadas
- Desacoplar el motor del ventilador y examinar el estado del acoplamiento, así como la alineación de los ejes.
- También deben revisarse los cortatiros de entrada y salida, comprobando que el cierre sea correcto y su accionamiento suave
- Debe prestarse especial atención a los alabes del ventilador, por si se hubiera producido depósitos o desgastes y corrosiones anómalas, que incluso podrían afectar al equilibrio del rotor.

En general, puede ser conveniente una revisión completa cuando concurren alguna de estas situaciones:

- descenso acusado del rendimiento del ventilador
- excesivo ruido, vibración y temperaturas en los cojinetes
- exagerado consumo en el motor de accionamiento
- cuando las horas de funcionamiento del equipo lo hagan aconsejables

No obstante, los fabricantes suelen facilitar un libro de instrucciones que recoge de una manera más explícita cuanto ha de saberse sobre el mantenimiento del ventilador.

- **Ciclón**

Un colector de polvo ciclónico propiamente seleccionado y especificado operará con muy poco mantenimiento y ofrecerá alta disponibilidad de operación, ya que no posee partes móviles ni filtros para reemplazar por lo que no se requerirá de paros o de servicios de limpieza extra en los filtros.

- **Tanque de almacenamiento**

- Inspección radiográfica de las soldaduras para el depósito de acero.
- Revisar conexiones con las tuberías.
- Comprobar la estanqueidad.
- Revisar el aspecto superficial.

El tanque deben limpiarse cada seis meses, extrayendo los residuos gruesos depositados.

9.4 GASTOS RELACIONADOS CON EL MANTENIMIENTO

o Costes directos

Costes generados directamente por el mantenimiento, es decir, materiales de repuesto, mano de obra, formación, energía, herramientas, consumibles y subcontratación.

o Costes indirectos

Relacionados con el mantenimiento o con la ausencia del mantenimiento. Son mayores que los directos y muchas veces no son considerados, o no en su justa medida. Los costes indirectos se pueden dividir a su vez en:

Costes inducidos:

- Las pérdidas de producción por pérdida de material en curso, por recortes, por disminución de velocidad del proceso o ciclos maquina.
- El sobrecoste energético por nuevas arrancadas y pérdida de eficiencia de la instalación.
- Deterioro de la calidad.
- Pérdidas de seguridad y accidentes.
- Medio ambiente.
- Deterioro de la instalación por daños causados por una avería.
- Envejecimiento prematuro de la instalación como consecuencia de un funcionamiento no óptimo.
- Gastos financieros, debidos a los retrasos en las entregas.

Costes de oportunidad

- Lucro cesante, entendido como coste por los beneficios no obtenidos consecuencia de una menor producción y por tanto de una menor venta. Este es un componente especialmente importante para aquellas empresas de proceso continuo que trabajan al límite de capacidad.
- Pérdida de imagen, debida a pérdidas de calidad y retraso en las entregas comprometidas.

Hay que tener muy en cuenta las siguientes afirmaciones:

- Es más rentable realizar un mantenimiento de calidad que hacer reparaciones constantemente.
- Los ahorros que amortizan las nuevas instalaciones se consiguen durante el funcionamiento de las mismas y no comprando la instalación más barata. En términos económicos podríamos decir que la rentabilidad de la inversión está más relacionada con los ahorros logrados durante su funcionamiento que con la reducción de la inversión inicial.

Las ventajas que caracterizan al contrato de resultados frente al actual, son principalmente:

- La regularidad y la estabilidad de sus precios, lo que garantiza un presupuesto estable a lo largo del tiempo al gestor empresarial
- Se produce una reducción del nivel de endeudamiento y de los gastos financieros.
- Centra su atención en la consecución de resultados más que en la gestión de la mano de obra, que pasa a ser un elemento cuya calificación, formación y motivación son indispensables para que el contratista logre el resultado acordado.
- El contratista se convierte en una ayuda para el gestor de la empresa, ya que se compromete con ella.

10. ESTUDIO DE SEGURIDAD DEL ASERRADERO

10.1 INTRODUCCIÓN

La seguridad industrial tiene por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamiento o desecho de los productos industriales.

Las actividades de prevención y protección, tendrán como finalidad limitar las causas que originen los riesgos, así como establecer los controles que permitan detectar o contribuir a evitar, aquellas circunstancias que pudieran dar lugar a la aparición de riesgos y mitigar las consecuencias de posibles accidentes.

Tendrán la consideración de riesgos, relacionados con la seguridad industrial, los que puedan producir lesiones o daños a personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente y en particular los incendios, explosiones y otros hechos susceptibles de producir quemaduras, intoxicaciones, envenenamiento o asfixia, electrocución, riesgos de contaminación producida por instalaciones industriales, perturbaciones

electromagnéticas o acústicas y radiación, así como cualquier otro que pudiera preverse en la norma internacional aplicable sobre seguridad.

10.2 LOCAL Y EQUIPO DE TRABAJO

El local de trabajo tendrán por lo menos 3 m de altura desde el piso al techo. No se acumulará maquinaria de tal modo que resulte peligroso para los empleados, ni tampoco se llenará de materiales o productos que constituyan riesgo para los mismos. Se dejará suficiente espacio alrededor de las máquinas individuales o unidas en serie para permitir su funcionamiento normal, el ajuste y las reparaciones ordinarias y para los materiales suministrados, en vía de fabricación o terminados. Los pisos y escalones no deberán ser resbaladizos, ni contruidos con material que con el uso, pueda llegar a serlo.

• Cortes y amputaciones por los elementos cortantes de máquinas y herramientas

Las máquinas y herramientas deben ser utilizadas con resguardos y/o protecciones de seguridad. Las acciones preventivas para mejorar la seguridad serán:

- comprar máquinas y herramientas seguras, que tengan el marcado CE
- proteger la parte cortante de las máquinas y herramientas con resguardos móviles o móviles con enclavamiento, resguardos regulables o retráctiles
- utilizar dispositivos de protección que obliguen a la acción simultánea de las dos manos. Mandos sensitivos a dos manos.
- Utilizar resguardos fijos, envolventes o distanciadores, si no es necesario acceder a la zona peligrosa
- Comprobar la eficacia de los dispositivos de protección y de los circuitos de mando
- Utilizar las máquinas solo personas designadas por el empresario, que han de ser informadas de sus peligros y adiestradas en su manejo
- Utilizar las máquinas de acuerdo con las instrucciones del fabricante y solo en aquellos trabajos para los que ha sido diseñadas, aunque fuera posible la realización de otros
- Prohibir los trabajos a menores en las máquinas peligrosas

- Utilizar los equipos de protección individual que sean necesarios en cada operación

- **Golpes por movimientos incontrolados de elementos de máquinas o materiales**

Estos pueden ser estanterías con materia prima, apilamientos de madera, almacenamiento de piezas, etc. Las acciones preventivas para mejorar la seguridad serán:

- mantener y respetar las distancias adecuadas entre las máquinas, los elementos o partes desplazables de las máquinas no deben invadir nunca zonas de paso.
- Señalizar en el suelo la zona que puede ser invadida por elementos o partes desplazables de las máquinas, especialmente si hay en su proximidad zonas de paso de personas
- Sujetar firmemente las estanterías a elementos sólidos como paredes o suelos y colocar los objetos más pesados en la posición más baja de las estanterías
- Garantizar la estabilidad de los apilamientos, respetando la altura máxima permitida
- Instalar barandillas con balaustres y rodapiés para impedir la caída de objetos almacenados en altillos, etc.

- **Proyección o desprendimiento de virutas o partículas de madera**

La acción preventiva colectiva para mejorar la seguridad es el objeto del presente proyecto, instalar un sistema de captación y aspiración localizada en las máquinas y herramientas que desprenden virutas o partículas de madera. Y por su puesto, una medida de protección individual sería utilizar gafas protectoras contra la proyección de partículas, y mascarillas si se requieren.

- **Caídas a distinto nivel**

Las acciones preventivas para mejorar la seguridad y minimizar el riesgo de caerse de altura son las siguientes:

- Asegurar todos los elementos de las escaleras de mano, colocar apoyos antideslizantes y prestar atención al ángulo de colocación y forma de utilización.
- Bloquear el acceso a zonas de trabajo elevadas que carecen de protección en su contorno (bordes del desnivel superior a 2 m)
- Cubrir las aberturas en el suelo o colocar barandillas en todo el perímetro de los huecos.
- El acceso a las zonas de almacenamiento elevadas será mediante escaleras fijas o móviles perfectamente aseguradas, plataformas de trabajo adecuadas o ascensores.

- **Caídas al mismo nivel**

Las caídas al mismo nivel son muy usuales y producidas por suelos sucios o resbaladizos, por obstáculos en los pasos o accesos, por falta de iluminación, por suelos irregulares o con aberturas, etc. Las acciones preventivas para mejorar la seguridad serán:

- eliminar la suciedad, papeles, polvo, virutas, grasas, desperdicios y obstáculos contra los que se pueda tropezar
- retirar los objetos innecesarios, envases, herramientas que no se estén utilizando, etc.
- Ordenar las herramientas en paneles o cajas, y los materiales que se necesitan para trabajar. Cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa.
- Marcar y señalar los obstáculos que no puedan ser eliminados
- Mantener las vías de acceso y los pasos perfectamente iluminados

10.3 ELECTRICIDAD

- **Riesgos por contacto directo o indirecto**

El riesgo de contacto con la corriente eléctrica para las personas es la posibilidad de circulación de una corriente eléctrica a través del cuerpo humano. Para que exista esa posibilidad es necesario: que exista un circuito conductor cerrado, que en el circuito exista una diferencia de potencial, que el cuerpo humano forme parte del circuito, que el

cuerpo humano haga de conductor, que entre los puntos de entrada y salida de la corriente eléctrica en el cuerpo humano exista una diferencia de potencial.

Estos riesgos son producidos por: partes en tensión de maquinaria y herramientas, cables, conductores, cajas de distribución, dispositivos de conexión, sistema de alumbrado eléctrico, utilización de equipos eléctricos y manipulación de instalaciones eléctricas con las manos o los pies mojados o con ropa húmeda, modificaciones en las instalaciones o en los equipos eléctricos originales. Las acciones preventivas para mejorar la seguridad serán:

- Antes de comenzar a trabajar, realizar un control visual para detectar defectos reconocibles.
- Puesta a tierra de las masas en combinación con interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada.
- Alejamiento y aislamiento de las partes activas de la instalación para evitar contactos directos
- Llevar a cabo un examen periódico de las instalaciones eléctricas y del material eléctrico con material especializado
- No utilizar hasta que las revise un especialista, maquinaria o herramientas eléctricas que han sufrido un golpe fuerte o han sido afectadas por la humedad
- En caso de avería desconectar la tensión y sacar el enchufe, comunicar los daños y hacerlos reparar por personal autorizado para trabajos eléctricos
- No trabajar con iluminación inadecuada o escasa.

10.4 AGENTES FÍSICOS

- **Ambiente térmico**

Son varios los parámetros que intervienen cuando se estudia el ambiente térmico: la temperatura seca del aire, la humedad relativa, la temperatura radiante media y velocidad del aire, además de la actividad desarrollada por los ocupantes del edificio, vestimenta, edad,...

Para establecer los valores ambientales idóneos, es preciso apoyarse en valores estadísticos capaces de contemplar todos estos factores, de forma que contemplen el

confort térmico como un equilibrio entre la actividad física y la ropa utilizada, por un lado y la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del aire por otro.

En los locales de trabajo se mantendrán por medios naturales o artificiales condiciones atmosféricas adecuadas para evitar así el insuficiente suministro de aire, el aire viciado, las corrientes dañinas, el calor o frío excesivos, los cambios repentinos de temperatura, y donde sea práctico, en relación con la naturaleza del procedimiento que se ejecute, evitarla humedad o sequedad excesivas y los olores desagradables. Deberán disponerse de cobertizos techados y cubiertas contra el viento para los trabajadores que se encuentren en los patios, con objeto de protegerles contra la lluvia y el viento.

- **Ruido y Vibraciones**

Un ambiente ruidoso puede distraer la atención de las personas, pudiendo producir situaciones de estrés, dolor de cabeza y fatiga. Por esta razón, es aconsejable que el nivel del ruido no sobrepase los 65 dB si no se precisa gran concentración y los 55 dB cuando se requiere un alto nivel de concentración.

Se llevaran a cabo evaluaciones periódicas, como mínimo, anualmente, en los puestos de trabajo en que el nivel diario equivalente o el nivel de pico superen 85 dB o 140 dB, respectivamente, o cada tres años, si no se sobrepasan dichos límites, pero el nivel diario equivalente supera 80 dB.

Las acciones preventivas para mejorar la seguridad serán:

- comprar máquinas y demás equipos de trabajo teniendo en cuenta el nivel de ruido y vibraciones que producen durante su normal funcionamiento
- efectuar el mantenimiento adecuado en maquinaria y herramientas
- utilizar revestimientos en paredes y techo, que absorban el ruido y las vibraciones
- aislar las fuentes de ruido y de vibraciones
- reducir los tiempos de exposición estableciendo los turnos de trabajo, evitar el paso por zonas de alta exposición, etc.
- Delimitar y señalizar las zonas de exposición al ruido y a las vibraciones

- Instalar los ventiladores lo mas alejado posibles de las zonas habituales de trabajo, y si fuera posible en el exterior del local
- Utilizar medios de protección individual contra el ruido, cuando sea necesario
- Informar a los trabajadores del riesgo que supone trabajar con ruido y vibraciones.

- **Iluminación**

Un nivel de iluminación bajo, un contraste insuficiente, los brillos excesivos y los deslumbramientos, son causa de estrés visual generador de irritación de ojos y dolores de cabeza. La falta de luz natural puede también estar en el origen de quejas inicialmente relacionadas con una pobre calidad del aire.

En todos los lugares donde trabajen o transiten personas habrá durante el tiempo que estén en uso, una iluminación adecuada natural o artificial o ambas, apropiada para las operaciones y para el tipo de trabajo que se ejecute. Siempre que sea factible debe adoptarse la iluminación natural. Todos los edificios dispondrán de luces de emergencia en las salidas de los lugares de trabajo y en los pasajes que conducen a ellos.

10.5 AGENTES QUIMICOS

El número y variedad de posibles contaminantes químicos es extenso y sus orígenes pueden ser muy diversos. La mayoría de las sustancias que contiene sustancias químicas son pinturas y barnices, catalizadores, disolventes y pegamentos. También existen sustancias nocivas tal como el polvo de madera. Las medidas preventivas para mejorar la seguridad serán:

- utilizar sustancias que tengan las mismas propiedades pero que sean menos peligrosas
- exigir al fabricante la ficha de seguridad de los productos
- establecer un plan de acción para la utilización de los productos (métodos de trabajo, protecciones colectivas, protecciones individuales, almacenamiento de productos, higiene y limpieza personal antes, durante y después de la utilización).

- Evitar el contacto de sustancias con la piel, utilizando mezcladores, homogeneizadores, paletas, etc. o guantes adecuados.
- Preparar los productos de acuerdo con las instrucciones del fabricante. No realizar mezclas de productos que no estén expresamente indicadas por el fabricante.
- Disponer y utilizar los equipos de protección individual según las prescripciones de uso de estos y la ficha de seguridad de los productos.
- Evitar la respiración de vapores orgánicos
- Instalar sistemas de extracción localizada en el lugar de origen de los polvos (zona de lijado) y partículas en suspensión
- Tener buena ventilación natural de los locales
- Utilizar equipos respiratorios de protección individual si no fuera posible o fuese insuficiente la ventilación localizada.

10.6 DISEÑO DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

- **Trabajos realizados manejando cargas o en posiciones forzadas**

Las medidas preventivas a adoptar serían las siguientes:

- utilizar medios de transporte o equipos de elevación auxiliares
- respetar las cargas máximas según sexo y edad
- cargar o transportar pesos pegándolos al cuerpo y en posición erguida
- alzar y transportar cargas con ayudas de otras personas
- disminuir el peso de las cargas
- posibilitar los cambios de postura
- colocar los útiles y demás medios de trabajo al alcance de la mano.

- **Condiciones ambientales del local de trabajo**

Existen varias condiciones que pueden hacer que las condiciones de trabajo no sean las adecuadas como por ejemplo, demasiado calor en el lugar de trabajo, corrientes de aire, demasiado frío en algunos de puestos de trabajo, el aire del local demasiado

seco o radiación de calor. Las medidas preventivas par mejorar lo anteriormente mencionado podrían ser las siguientes:

- proporcionar ropa de protección adecuada
- llevar a cabo pausas adecuadas durante los trabajos pesados cuando el cuerpo está sometido a la influencia de calor
- regular la temperatura de acuerdo con las exigencias (calefacción, aire acondicionado)
- aislar del calor y la humedad
- humedecer el aire del local
- evitar corrientes de aire
- instalar en su caso sistemas de ventilación forzada

- **Iluminación en el lugar de trabajo**

Debe existir una buena iluminación en las entradas a talleres, escaleras, portales, almacén y mesas de trabajo. Las acciones preventivas a adoptar para el mejor de la iluminación en el puesto de trabajo serán las siguientes:

- medir la intensidad de iluminación en cada puesto antes de empezar a trabajar
- cambiar la instalación de iluminación, para corregir los lugares oscuros, hasta que sea suficiente
- eliminar o apantallar las fuentes de luz deslumbrantes
- limpiar periódicamente las lámparas y luminarias, en su caso, instaladas para corregir la oscuridad

10.7 ORGANIZACION DEL TRABAJO

- **Situaciones de trabajo que producen estrés**

Existen situaciones en el trabajo que producen estrés como son: jornada laboral excesiva, trabajos no planificados o imprevistos, trabajo a destajo y trabajos que requieren otra cualificación. Las medidas para mejorar serian:

- no prolongar en exceso la jornada de trabajo y compensarla preferentemente con descanso adicional
- planificar los diferentes trabajos de la jornada teniendo en cuenta una parte para imprevistos
- seleccionar al trabajador según la actividad que ha de desarrollar.

- **Relaciones entre los trabajadores**

Puede existir un inadecuado reparto de la actividad entre los trabajadores, falta de coordinación de las tareas o un inadecuado trabajo en equipo. Para corregir lo anterior se debería:

- delimitar la tarea por actividades afines
- marcar prioridades de tarea, evitando solapamientos e interferencias entre los operarios.
- Impedir y desaconsejar conductas competitivas entre trabajadores
- Informar periódicamente sobre la calidad del trabajo realizado
- Motivar al trabajador responsabilizándole de su tarea.

- **Conductas personales ante los riesgos**

Normalmente no existe información sobre los riesgos laborales y no se utilizan los métodos de trabajo seguros ni los medios de protección, para ello habrá que instruir a los trabajadores en todos y cada uno de los cometidos y situaciones de riesgo ante los que se puedan encontrar.

- **Estado y utilización de los equipos de protección individual (EPI):**

Se deben elegir los EPIs correctos y en número suficiente, ya que estos son de uso personal. Se debe revisar periódicamente el estado y funcionamiento de los equipos de protección, cambiar los equipos defectuosos o caducados, señalar los daños que puede causar el uso incorrecto de los EPIs y realizar instrucciones periódicas sobre el uso y mantenimiento de los EPIs.

10.8 PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

La protección contra incendios se entiende como aquellas condiciones de construcción, instalación y equipamiento con el objeto de garantizar las siguientes situaciones:

- evitar el inicio del incendio
- evitar la propagación del fuego
- asegurar la evacuación de las personas
- facilitar el acceso y las tareas de extinción del personal de bomberos.

- **Riesgo de incendio en el aserradero y acciones preventivas**

El riesgo de incendio es producido por trabajar con:

- sólidos inflamables (madera, viruta, serrín)
- líquidos inflamables (disolventes, pinturas, barnices)
- presencia de focos de ignición (cigarrillos encendidos, mecheros, chispas eléctricas, etc)
- ambiente con polvo de madera inflamable

Las acciones preventivas para mejorar la seguridad en el aserradero son las siguientes:

- disponer solo de la cantidad necesaria de materiales inflamables o combustibles para el trabajo del día, el resto estar en almacén
- almacenar los productos inflamables en locales distintos e independientes de los de trabajo, debidamente aislados y ventilados, o en armarios completamente aislados.
- Prohibir fumar en todo el recinto sujeto al riesgo.
- Instalación eléctrica antideflagrante
- Los equipos, aparatos y máquinas deberán tener sistemas antideflagrantes (luminarias, ventiladores, etc) o funcionar con bajas tensiones

- Mantener el ambiente de trabajo limpio de polvo en suspensión mediante extracción localizada y canalizada por conducciones herméticas
- Colocar extintores de incendio adecuados a la clase de fuego
- Hacer mantenimiento periódico de extintores
- Revisar y mantener las instalaciones eléctricas aisladas y protegidas
- Señalizar y dejar libres las salidas de emergencia
- Realizar periódicamente ejercicios de evacuación simulada

- **Riesgo de explosión y acciones preventivas**

En el aserradero también puede existir riesgo de explosión producido por instalaciones de aire comprimido, vapores o nieblas de disolventes orgánicos, mezcla de polvo de madera y aire, y provocado por el ciclón. Las acciones preventivas son las siguientes:

- revisar anualmente la instalación de aire comprimido por un servicio de mantenimiento acreditado
- captar el polvo mediante extracción localizada y canalizada por conducciones herméticas
- llevar un control de la concentración de polvos, gases y vapores inflamables
- prohibir fumar en todo el recinto
- tener especial cuidado con el ciclón donde se almacenan grandes cantidades de polvo de madera y aire sometidos a calentamientos y fricciones
- evitar la aparición de electricidad electrostática que se genera en los ciclones, poniendo a tierra sus elementos y manteniendo una humedad relativa alta.

- **Clasificación de fuego**

Los fuegos se clasifican principalmente según sea el combustible que lo origina.

- Clase A: se incluyen los fuegos de materiales sólidos, generalmente de tipo orgánico, cuya combustión tiene lugar con la formación de brasas. Madera, carbón, paja, tejidos, etc.

- Clase B: se incluyen los fuegos de líquidos, o de sólidos licuables. Gasolina, gasóleos, aceites, etc.
- Clase C: se incluyen los fuegos de gases. Propano, butano, metano, etc.
- Clase D: o especiales, incluyéndose en esta clasificación aquellos combustibles no comprendidos en los apartados anteriores por su especial naturaleza (carburo cálcico, metales ligeros, etc). Entran dentro de esta clasificación los metales de alto poder radiactivo y polvos metálicos. Aluminio en polvo, uranio, sodio, etc.
- Fuego eléctrico: cuando se de cualquiera de los anteriores en presencia de electricidad.

En el aserradero habrá más posibilidad de que ocurra un fuego de clase A por el gran volumen de madera y por el almacenamiento del serrín.

- **Efectos nocivos del incendio**

Van a depender de muchos factores, sobre todo del combustible que arde y del lugar donde se origina, por lo que pueden ser muy variados. Se clasifican en tres grandes apartados:

- Caloríficos: quemaduras en personas, deterioro de materiales que arden.
- Gaseosos: humos, gases irritantes, gases tóxicos, gases corrosivos, disminución del oxígeno del aire.
- Derrumbamiento de las instalaciones: el aumento del calor a que se ven sometidas las estructuras del edificio, hace que disminuya la resistencia de los materiales utilizados en su construcción y la aparición de dilataciones de los mismos, lo que puede provocar el derrumbe del edificio o la instalación afectada.

- **Productos químicos de la combustión**

- Humos: reducen la visibilidad, producen irritaciones en las mucosas, ojos y vías respiratorias. Ante exposiciones prolongadas, afectan al ritmo respiratorio y disminuyen la capacidad de respuesta de la persona que los inhala.

- Gases: representan el principal riesgo para las personas ante un incendio. De hecho las estadísticas demuestran que el mayor número de víctimas en un incendio, los son como consecuencia directa de la inhalación de los gases desprendidos durante la combustión. Aunque el tipo de gases que pueden desprenderse varían de acuerdo con el tipo de combustible que arde, se pueden citar como más frecuentes los siguientes: monóxido de carbono, amoníaco, anhídrido carbónico, cloruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxido de nitrógeno

- **Causas del incendio**

Pueden estar motivadas por una gran cantidad de situaciones. Las que se presentan con mayor frecuencia son:

- Naturales: caída de rayos y autocombustiones
- Eléctricas: chispas en interruptores, fusibles, motores, etc; calentamiento de aparatos eléctricos; y electricidad estática.
- Térmicas: hogares de combustión, calderas, hornos; chispas o pavesas de chimeneas, quemadores, tubos de escape de vehículos, superficies calientes, llamas al descubierto.
- Mecánicas: rozamientos, choques y golpes
- Químicas: reacciones exotérmicas

- **Extinción de incendios**

Cualquier técnica utilizada en la extinción de un incendio, conlleva el eliminar cualquiera de los elementos que lo produce: combustible, oxígeno, reacción en cadena, calor. Según sea el elemento que se elimina, aparecerá una forma de extinción determinada, pudiéndose relacionar las siguientes:

- Desalimentación: consiste en retirar o eliminar el combustible que forma parte del incendio.
- Enfriamiento: consiste en eliminar el calor para conseguir la reducción de la temperatura de inflamación del combustible.

- Sofocación: consiste en impedir que los valores combustibles que se desprenden a una determinada temperatura para cada materia, se pongan en contacto con el oxígeno del aire.
- Dilución: consiste en disminuir la concentración del combustible, para impedir que se aporte en cantidad suficiente para mantener la combustión.
- Rotura o inhibición de cadena: consiste en impedir la transmisión de calor de unas partículas a otras de combustible, interponiendo elementos catalizadores entre ellas. Se trata de compuestos químicos que reaccionan con los distintos componentes, neutralizándolos.

- **Agentes utilizados en la extinción de incendios**

El agente extintor debe ser apropiado ala clase de fuego que va a combatir, es decir, a los combustibles existentes y las operaciones industriales que existan en el riesgo, con el fin que acción se manifieste eficazmente.

Además, hay que tener en cuenta, en el momento de la elección del agente extintor, la posible toxicidad de los gases producidos en la descomposición, por el calor, de algunos agentes extintores cuando se emplean en locales pequeños o mal ventilados. Se consideran adecuados, para cada una de las clases de fuego, los siguientes agentes extintores:

<i>AGENTE EXTINTOR</i>	<i>CLASE DE FUEGO</i>			
	A	B	C	D
Agua a chorros	XX			
Agua pulverizada	XXX	X		
Espuma física	XX	XX		
Polvo polivalente	XX	XX	XX	
Polvo seco		XXX	XX	
Nieve carbónica		X		
Derivados halogenados	X	XX	X	
Productos específicos para metales				X

X = aceptable XX = bueno XXX = excelente Nada = no aceptable

Como se puede observar en la tabla anterior el mejor agente extintor para fuegos de tipo A es el agua pulverizada, por lo que este será el seleccionado para el aserradero.

Agua

Presenta una serie de cualidades extintoras que justifican el hecho de que sea un producto utilizado desde tiempos muy remotos en la lucha contra incendios. Si además se tiene en cuenta su abundancia, su bajo coste, disponibilidad, fácil manejo, etc., explica que siga siendo el más empleado, ya que bien empleado es el agente más eficaz.

Efectos extintores del agua:

- Enfriamiento: al caer sobre el incendio, absorbe gran cantidad de calor produciendo un fuerte efecto de enfriamiento en el combustible, debido precisamente a las propiedades físicas del agua.
- Sofocación: al pasar al estado vapor, el agua aumenta 1700 veces de volumen. Este volumen de vapor desplaza un volumen igual al aire que rodea al incendio, disminuyendo su concentración y por tanto la del oxígeno.

La aplicación del agua sobre las distintas clases de incendios varía

- Para la clase A es el agente extintor más adecuado, para utilizarlo en cualquiera de sus formas.
- Para la clase B es aceptable, siempre que sea de forma pulverizada. En caso de utilización a chorro, se corre el riesgo de extenderlo más.
- Para la clase C no es utilizable, excepto para refrigerar zonas expuestas al calor.
- Para la clase D no se debe utilizar bajo ningún concepto, ya que hay combustibles, como el sodio, que al reaccionar con agua producen hidrógeno, que es altamente inflamable.
- El agua al ser conductora de la electricidad, no se puede utilizar para incendios de elementos en tensión, excepto cuando se utilice de forma pulverizada, pues la separación de finas gotas aísla la conducción de la electricidad.

- **Sistemas de lucha contra incendio**

Extintores

Aparatos que contiene un agente extintor que puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interna. En el cuerpo del aparato deben figurar una serie de inscripciones que permitan identificar el aparato y la forma de utilización. Deberán figurar: naturaleza del agente extintor que contiene, peligro o limitaciones de empleo, temperatura máxima y mínima de servicio.

Los extintores móviles deberán colocarse en aquellos puntos donde se estime que existe una mayor probabilidad de originarse un incendio, a ser posible, próximos a las salidas y siempre en lugares de fácil visibilidad y acceso. Su distribución, será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m. Por este motivo se instalará un extintor dentro de la nave del aserradero.

En locales grandes o cuando existan obstáculos que dificulten su localización, se señalizaran convenientemente su ubicación. Los extintores manuales se colocaran sobre soportes fijados a parámetros verticales o pilares, de forma que la parte superior del extintor quede como máximo a 1,70 m del suelo.

Bocas de incendio equipadas (BIE)

Están compuestas por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación de agua, y un armario en el que se ubican la manguera, racores, manómetro, lanza, etc.

La norma expone que se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en los sectores de incendio de los establecimientos industriales, si están ubicados en edificios tipo A, y su superficie total construida es de 300 m², o superior. Por lo que en el aserradero no se instalaran este tipo de sistema ya que su superficie es de 88 m².

Sistemas de detección

Las funciones que realizan son: detectar la presencia de un conato de incendio con rapidez, dar la alarma preestablecida, localizar el incendio en el espacio, ejecutar el plan de alarma, realizar funciones auxiliares.

Sus componentes principales son: detectores automáticos y centrales de señalización y control.

Sistemas de extinción automática

Se adoptan en instalaciones que tengan alguno de estos condicionantes: riesgo potencial elevado, rápida propagación, ausencia del personal, localización geográfica, coste elevado del material.

Como funciones principales están: extinguir el incendio en el momento de producirse, combatirlo hasta la llegada de las ayudas exteriores, evitar su propagación.

Los sistemas automáticos de detección de incendio y sus características y especificaciones se ajustan a la norma UNE 23.007.

Algunos de los sistemas son: sistemas de rociadores automáticos de agua, sistemas de espuma, sistemas de anhídrido carbónico, sistemas de polvo químico.

Los silos presentan pocas oportunidades en las que un sistema tradicional de rociadores automáticos pudiera ofrecer protección suficiente. Sin embargo, hay algunos casos concretos en los que los rociadores, las horquillas finas para pulverización de agua y los sistemas de supresión de explosiones podrían ser eficaces.

El depósito de serrín ubicado en el exterior del aserradero presenta un importante potencial de incendio y de explosiones por lo que está justificada la instalación de un sistema de rociadores automáticos o un sistema de supresión de explosiones. La tecnología de supresión de explosiones, es decir, la detección rápida de una explosión incipiente y la aplicación inmediata del agente supresor ofrece la posibilidad de reducir el número de explosiones en los silos.

Un sistema de supresión de explosiones está diseñado para actuar, tras la detección de una combustión incipiente, descargando instantáneamente agentes

extintores que apagan la reacción de combustión, evitando así el incremento de la presión por encima de un valor predeterminado. Básicamente su funcionamiento se desarrolla en tres etapas:

- Detección; que se consigue mediante componentes activados por la presión o luz, siendo las condiciones del proceso el que determinan el sistema mas apropiado.
- Iniciación; como resultado de la detección se envía una señal al sistema de control electrónico indicando que se ha detectado un proceso de combustión. Dicho sistema procesa la señal recibida e inicia la secuencia de apertura del recipiente que contiene el agente extintor.
- Supresión, mediante descarga del agente extintor

- **Salidas de los edificios**

Las salidas deberán instalarse en número suficiente y dispuestas de tal manera que todas las personas ocupadas en sus lugares de trabajo puedan abandonarlos inmediatamente, con toda seguridad en caso de emergencia. Donde no se disponga de acceso inmediato a las salidas, se dispondrá, en todo momento, de pasajes y corredores, continuos y seguros, que conducirán directamente a cada salida. Las puertas y pasillos de salida deberán estar claramente marcados con señales luminosas que indiquen la vía de salida, y estarán dispuestas de tal manera que permanezcan iluminadas aún en el caso de que falte corriente.

- **Plan de Emergencia**

Al disponer de un plan de emergencia reduciremos el tiempo de respuesta requerido después de que ocurre un incendio. No habrá que pensar ¿qué hacer?, pues ya está pensado en el plan. Este plan ayuda a realizar sistemáticamente, con orden y eficacia, aquellas acciones que sin un plan, serían arbitrarias, caóticas e ineficaces. Contribuye a contener el incendio, a reducir los daños a los bienes y al negocio y acelera la rehabilitación y la recuperación de la actividad.

10.9 RESGUARDO DE MAQUINAS

Las máquinas son uno de los elementos de mayor entidad, que intervienen en los procesos productivos, que se desarrollan en las empresas. La importancia que tiene el tratamiento de los riesgos de seguridad y salud en las mismas es evidente, tanto en los procesos de fabricación como en su utilización.

Los accidentes de trabajo que se producen se caracterizan por su especial gravedad, pudiendo estar motivados por fallos, averías o mal diseño en las partes técnicas de las máquinas o por actos inseguros que realicen los operarios que las utilicen. El 8% de los accidentes que se producen en los diferentes sectores industriales están relacionados con las máquinas. La normativa existente respecto a este tema es la *Directiva 98/37/CEE y el Real Decreto 1215 de 18 de julio de 1997.*

En general, se protegerán todas las partes móviles de los motores primarios, los equipos de transmisión y las partes peligrosas de las máquinas accionadas, a menos que estén construidas o colocadas de tal manera que eviten que una persona u objeto entre en contacto con ellas.

- **Peligros generados por las máquinas**

Los peligros generados por las máquinas se pueden encontrar, al diseñar una máquina, al elaborar una norma de seguridad relativa a una máquina o al evaluar los riesgos. Estos peligros deben ser identificados en todas las fases de la vida de la máquina: fabricación, transporte y puesta en servicio, montaje, instalación, ajuste, reglaje, aprendizaje / programación, funcionamiento, limpieza, localización de averías, mantenimiento, desmantelamiento y retirada.

De todos los peligros enunciados en la lista anterior, el peligro mecánico es el que produce un mayor número de accidentes de trabajo. Los movimientos peligrosos de una máquina son los de rotación alternativos y de traslación, de rotación y traslación, de oscilación.

- **Requisitos de seguridad y salud**

En la Directiva 98/37/CE, se especifican los requisitos esenciales que deben cumplir las máquinas para su libre comercialización: principios de integración de la seguridad, materiales y productos, alumbrado, diseño de la máquina con miras a su manipulación, medidas de protección contra riesgos mecánicos, características que deben cumplir los resguardos y dispositivos de protección, medidas de protección contra otros riesgos, mantenimiento e indicaciones.

- **Medidas de prevención**

- Siempre que lo permita, las partes accesibles de la máquina no deben tener aristas cortantes, ni ángulos agudos, ni superficies rugosas, ni piezas salientes que puedan causar lesiones, ni aberturas que permitan enganchar partes del cuerpo o ropa.
- Las máquinas fabricadas deben ser intrínsecamente seguras, por la forma y posición relativa de las partes mecánicas que la constituyen.
- Se limitarán los esfuerzos previniendo sobrecargas. Por ejemplo: con válvulas limitadoras de presión, zona de rotura predeterminada limitadores del par, etc.,.
- Se aplicará el principio de la acción mecánica positiva, es decir, que un componente mecánico al desplazarse arrastre inevitablemente a otro componente bien por contacto directo por medio de elementos rígidos.
- Se deberán tener en cuenta los principios de ergonomía teniendo en cuenta las dimensiones del cuerpo, los esfuerzos, la postura, la amplitud de movimientos y la frecuencia de acciones repetitivas.
- Se tendrán en cuenta los típicos comportamientos peligrosos de una máquina: puesta en marcha intempestiva inesperada, fallo en la parada de los elementos móviles, inhibición de los dispositivos de protección, arranque espontáneo de la máquina al restablecer la alimentación de la energía, después de la interrupción de ésta.
- Los mandos se diseñarán de acuerdo a los principios ergonómicos.
- Cada máquina estará provista de uno o varios dispositivos de parada de emergencia, por medio de los cuales se pueden evitar situaciones peligrosas que puedan producirse de forma inminente o que se estén produciendo.

- En los circuitos neumáticos e hidráulicos, las pérdidas de presión, las pérdidas de carga o las pérdidas de vacío, no deben dar lugar a ningún peligro.
- El equipo eléctrico debe garantizar la protección de las personas contra el choque eléctrico debido a contactos directos e indirectos
- Las partes activas deben estar dentro de envolventes. La apertura de éstas sólo se permite cuando se emplee específicamente una llave o herramienta o por una persona experta o instruida para realizar operaciones en las que no sea necesario desenchufar el equipo.
- La protección contra los contactos eléctricos indirectos está destinada a proteger a las personas contra las condiciones peligrosas que puedan resultar de un fallo de aislamiento entre las partes activas y de la masa.

- **Requisitos relativos a los resguardos**

- Deben ser compatibles con el ambiente de trabajo de la máquina.
- Deben estar diseñados de forma que no sea fácil neutralizarlos.
- Deben evitar el acceso al espacio encerrado por él mismo.
- Deben ser de construcción robusta.
- No deben ocasionar peligros suplementarios.
- Se situarán a distancias adecuadas de las zonas peligrosas.
- Deben retener los materiales, piezas trabajadas, astillas, líquidos, radiación, polvo, humo, gases, etc.,. Que las máquinas pudieran proyectar, dejar caer o emitir.
- Los resguardos móviles cuando se abran, deberán permanecer unidos a la máquina siempre que sea posible. Deben estar asociados a dispositivos de enclavamiento, con el fin de evitar la puesta en marcha mientras éstos sean accesibles y dar una orden de parada desde el momento en que no estén cerrados.
- La regulación de un resguardo móvil debe ser el resultado de una acción voluntaria, por ejemplo de una herramienta, de una llave, etc.,.
- Los resguardos regulables, pueden ser utilizados en el caso de que la zona peligrosa no pueda ser totalmente cerrada.

10.10 SISTEMA DE TUBERIAS

Los tubos, accesorios y válvulas usados en los sistemas de tuberías serán de materiales capaces de resistir la acción química de las sustancias que se manipulen y adecuados para la máxima presión y temperatura a las cuales estarán sujetos. Las líneas de tubos estarán provistas de codos y juntas para garantizar una libre expansión y contracción. Irán provistas de aberturas para inspección y drenaje en lugares apropiados.

Serán examinadas a intervalos frecuentes y regulares todas las válvulas defectuosas, conexiones con salideros y los tramos de tubos corroídos serán reemplazados.

Se situarán en los sistemas de tuberías para evitar la electricidad estática carretes de vibraciones con un cable eléctrico conectado a Tierra.

10.11 EQUIPOS DE PROTECCIÓN

La Ley de Prevención de Riesgos laborales, recoge en su artículo 14 el derecho de los trabajadores a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Dentro de los principios generales de aplicación de las medidas preventivas que sean pertinentes (en el artículo 15 de la referida ley, se indica en su punto h) “adoptar medidas que antepongan la protección colectiva a la individual”, es decir, que como principio se debe trabajar de una forma razonable en aplicar a las máquinas, instalaciones, etc, medidas de protección colectivas encaminadas a la supresión de los peligros en origen, mediante la actuación en la fase de proyecto, en los diseños de máquinas o equipos o en la fase de métodos de trabajo.

10.11.1 Equipos de protección colectiva

La protección colectiva es la técnica dirigida al estudio de los medios y dispositivos empleados para proteger simultáneamente a varios trabajadores de un determinado factor de riesgo presente en sus condiciones de trabajo. Dentro del ámbito de seguridad en el trabajo es frecuente el uso de protecciones colectivas frente a los riesgos de incendio y explosiones, eléctrico, caídas de altura, etc.

Entre estos equipos se encuentran, según las distintas situaciones de trabajo:

- Excavación de zanjas o trincheras: las barandillas de seguridad, entibación, tirantes de apoyo.
- Trabajos de mantenimiento en ambientes húmedos: tensión de seguridad (24 V), instalación del transformador, fuera del recinto donde se utilizan las herramientas.
- Sistema de arranque por tornillos sin fin: tubo de salida con longitud suficiente para evitar que los dedos no alcancen la zona de atrapamiento, varillas protectoras con el espacio de apertura calculado en función del espesor de los dedos del operario, interrupción en el punto de peligro, del diámetro del tornillo son fin.
- Captación directa de humos de soldadura: sistema centralizado de captación de humos.

La ventilación por extracción localizada, objeto del presente proyecto, se encuentra dentro de un medio de protección colectivo, ya que este evita que todos o cualquiera de los trabajadores expuesto puedan sufrir daños en su salud debido al polvo de madera.

10.11.2 Equipos de protección individual

El *Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo*, define los equipos de protección individual (EPI), como cualquier equipo destinado a ser llevado sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

Conviene tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La utilización, el almacenamiento, mantenimiento, limpieza desinfección cuando proceda y la reparación de los equipos deberá efectuarse de acuerdo con las instrucciones dadas por el fabricante.

- Las condiciones en las que estos equipos deben ser utilizados, en particular en lo que se refiere al tiempo durante el cual haya de llevarse, se determinará en función de la gravedad del riesgo, del tiempo o frecuencia de exposición al riesgo, de las condiciones del puesto de trabajo, de las prestaciones del propio equipo y de los riesgos adicionales derivados de la propia utilización del equipo que no hayan podido evitarse.
- Estos equipos deben estar destinados al uso personal, no obstante, si las circunstancias exigiesen la utilización de un equipo por varias personas, se adoptarían las medidas necesarias para que ello no originase ningún problema de salud o higiene a los diferentes usuarios.

Cuando se seleccione la ropa de trabajo se deberán tomar en consideración los riesgos a los cuales el usuario pueda estar expuesto y se deberán seleccionar aquellos tipos que reduzcan los riesgos al mínimo.

- **Protección de la cabeza**

Se utilizará cascos, gorras, redes para el pelo... destaca el casco de seguridad que tiene por objeto la defensa del cráneo frente a los riesgos de choques, golpes, caídas de objetos, descargas eléctricas y otros riesgos singulares derivados del puesto de trabajo. Aquellos cascos que hayan sufrido impactos violentos, deberán ser sustituidos. Deberán estar contruidos con materiales aislantes.

Los riesgos a los que se exponen los trabajadores y que afectan a la cabeza no se limitan a golpes o caídas de objetos, sino que existen otros muchos que deberán tenerse en cuenta, entre los que se encuentran:

- Enganches de los cabellos por proximidad de máquinas en movimiento.
- Acumulación permanente y ocasional de sustancias peligrosas o sucias.
- Sol, lluvia o nieve.

Aquellos cascos que hayan sufrido impactos violentos, aún cuando no se les aprecie exteriormente deterioro alguno, deberán ser sustituidos. Para trabajos en proximidades de elementos en tensión se tendrá en cuenta esta circunstancia, dotando al

trabajador de cascos contruidos con materiales aislantes. Bajo ningún concepto se utilizarán cascos metálicos.

- **Protección de los ojos y la cara**

Las operaciones industriales crean una gran variedad de peligros para los ojos y la cara, por ejemplo partículas que salen despedidas, salpicaduras de líquidos corrosivos o de metales fundidos, polvos, radiaciones, etc.

Estos equipos, atendiendo a la parte específica que protegen, se dividen en dos grandes grupos: pantallas y gafas. Entre los riesgos que protegen se pueden citar: golpes débiles, salpicaduras químicas o de metales calientes, radiaciones, etc.

Las más conocidas por su mayor utilización son:

- *Pantallas para soldadores*: existen dos tipos, las pantallas de mano que se utilizan exclusivamente en operaciones de soldadura y en puestos donde se alterna la operación de soldar con otras en las que no es necesaria la protección, pudiendo interponer la pantalla en el momento justo en que se desprenden las radiaciones y las pantallas de cabeza, que se acoplan mediante un atalaje a la cabeza del usuario, siendo generalmente abatibles, pudiendo cubrir o no la cabeza del usuario a voluntad del mismo, aunque siempre permanecen acoplados a ésta. Estas pantallas, ya sean de un tipo u otro, están provistas en algunos casos de un mecanismo por el que los filtros se desplazan, de forma que únicamente quedan los demás cristales de protección prestando servicio. El objeto de este sistema es preservar al usuario de los riesgos derivados de impactos de partículas volantes, cuando la tarea que realiza no requiere el uso de filtros.
- *Pantallas faciales con visores de plástico*: van dotadas de un plástico transparente que protege contra partículas o salpicaduras de sustancias químicas. La pantalla deberá ser resistente al fuego y su visor se reemplazará cuando se deforme o raye. Deberá establecerse un plan de reemplazo periódico, ya que los plásticos tienden a volverse quebradizos con el tiempo. La suspensión y la pantalla deberán ser ajustables al tamaño y contorno de la cabeza del usuario y fáciles de limpiar.

- *Gafas*: el ojo es un órgano muy delicado, el choque de una partícula que normalmente en otro lugar del cuerpo no tendría ningún efecto nocivo, en los ojos, por el contrario, puede tener consecuencias muy graves. Entre los riesgos normales a los que se expone el ojo del trabajador, dentro de la diversidad ya apuntada, se pueden citar: proyección de partículas procedentes de su puesto de trabajo o de otro ajeno, radiaciones, polvo. Antes de su entrega, como cualquier otro equipo de protección individual, habrá que hacer un estudio riguroso del puesto de trabajo con objeto de determinar los riesgos y, por tanto, elegir la más adecuada. Las reglamentaciones en vigor especifican que para aquellos trabajadores que necesiten corrección de la vista les sean proporcionadas gafas protectoras, con la adecuada graduación óptica, u otras que puedan ser superpuestas a las graduadas del propio trabajador.

Ambas soluciones son posibles cumpliendo de cualquier forma lo indicado por la legislación. No obstante, la solución ideal es dotar al usuario de gafas de seguridad graduadas.

- **Protección de los oídos**

Los efectos que el ruido puede provocar en las personas expuestas varían, entre otras cosas, por la sensibilidad de éstas. Se pueden originar lesiones graves incluso por una corta exposición en un ambiente ruidoso. La aparición de la sordera o hipoacusia profesional no es repentina, sino progresiva y está provocada por una exposición continuada a ambientes ruidosos durante la vida profesional.

El ruido, además de deteriorar el aparato auditivo, cuando es de intensidad elevada y, siempre dependiendo del tiempo de exposición, puede tener repercusiones sobre la salud del trabajador. Las repercusiones fisiológicas más destacables son: el aumento del ritmo cardíaco, aceleración del ritmo respiratorio, disminución de la atención, etc.

Además de los trastornos fisiológicos hay otros de índole psicológico que pueden provocar modificaciones del carácter o del comportamiento (agresividad, ansiedad, disminución de la atención, etc.,). Como cualquier equipo de protección

individual requiere un periodo de adaptación y sobre todo que sea utilizado adecuadamente.

Es bastante frecuente que el diámetro o tamaño de los tapones sea distinto al del conducto auditivo del operario o que no se inserte a fondo y correctamente con el fin de reducir las molestias que producen los primeros días de su utilización. Ambas circunstancias producen una disminución de su eficacia.

Cualquier protector auditivo, deteriorado, roto o perforado, etc., debe ser sustituido ya que su eficacia se reduce considerablemente. La elección de los mismos deberá hacerse tras un estudio profundo de las características del ruido que se quiere combatir.

En la actualidad está en vigor el *Real Decreto 1316/1989 de 27 de octubre que desarrolla la Directiva del Consejo de la Comunidad Europea 86/188/CEE*, donde se recoge la obligatoriedad de los equipos de protección individual y las medidas técnicas a adoptar por las empresas de acuerdo con el tipo de ruido al que están expuestos los trabajadores.

Se utilizarán tapones, cascos,..., cuando en el lugar de trabajo se superen los límites de sonoridad establecidos.

- **Protección de las vías respiratorias**

Los equipos utilizados tienen como misión hacer que el trabajador que desarrolle su actividad en un ambiente contaminado o con deficiencia de oxígeno pueda disponer para su respiración, de aire en condiciones apropiadas.

Estos equipos se relacionan en función de la existencia de la atmósfera y su porcentaje en oxígeno, es decir, en función de la forma de afrontar la contaminación ambiental. Se clasifican en dos grandes grupos:

- *Dependientes del medio ambiente (Filtrantes)*: cuando la proporción de oxígeno en la atmósfera sea superior al 19.5 %, ésta sería respirable, por tanto, simplemente será necesario un equipo cuya función sea la de eliminar los productos en suspensión o disueltos que puedan presentar problemas para la persona que los respira. Se trata de equipos que purifican el aire contaminado en el que ase desenvuelve el usuario, dejándolo en condiciones adecuadas para ser inhalado por éste. Este tipo de protección se utilizaría en el aserradero en el caso de que existiese un fallo en el sistema de depuración del aire.

- *Independientes del medio ambiente (Aislantes)*: se trata de equipos que suministran aire al usuario desde otro lugar, o bien, de un recipiente que lo almacena a presión. Su característica principal es la de la independencia de la atmósfera que confiere al usuario. Para usar con seguridad estos equipos el personal deberá haber sido instruido previamente acerca de las posibilidades del equipo y la forma correcta de utilización.

- **Guantes de protección**

De todas las partes del cuerpo es en los brazos y en especial en las manos donde se producen el mayor número de accidentes. Los guantes de protección tienen como misión proteger las manos del operario de cualquier agresivo, ya sea físico, químico o biológico a que esté expuesto en su trabajo diario.

Los guantes utilizados cerca de máquinas en movimiento son un gran peligro debido al riesgo de que los mismos sean enganchados y como consecuencia de ello, la mano del usuario. En estos casos se deberá utilizar otro sistema.

Cuando no resulte práctico utilizar un equipo de protección individual y siempre que el tipo de trabajo lo permita, se sustituirá por la utilización de cremas protectoras para proteger la piel contra diversas sustancias irritantes.

- **Zapatos y botas de seguridad**

El pie y la pierna son las partes del cuerpo más expuestas a riesgos de accidentes por caídas, pinchazos con clavos, etc. Además de botas y zapatos también hay que citar polainas, cubre empeines, plantillas, cubrepiés, etc. Frente al riesgo derivado del empleo de líquidos corrosivos o riesgos químicos, se usará calzado con piso de caucho, neopreno, madera,...., debiéndose sustituir el cosido por la vulcanización en la unión del cuerpo con al suela. Si existe riesgo de descarga eléctrica, se utilizará calzado aislante sin ningún tipo de elemento metálico. Donde exista riesgo de caída por resbalamiento, las suelas del calzado de seguridad serán antideslizantes.

- **Ropa de protección**

Antes de entregar al trabajador cualquier ropa, se deberá tener en cuenta los riesgos a los que está expuesto, seleccionando aquellos tipos que reduzcan los riesgos al mínimo posible en cada caso.

Con carácter general, la ropa de protección deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Será de tejido ligero y flexible, que permita una fácil limpieza y desinfección, adecuada a las condiciones de temperatura y humedad del puesto de trabajo.
- Se ajustará bien al cuerpo del trabajador, sin perjuicio de su comodidad y facilidad de movimientos.
- Siempre que las circunstancias los permitan, las mangas serán cortas, y cuando sean largas se ajustarán perfectamente por medio de terminaciones de tejido elástico. Las mangas largas que deben ser enrolladas, lo serán siempre hacia dentro, de modo que queden lisas por fuera, eliminando la posibilidad de que sean enganchadas.
- Se eliminarán o reducirán, en todo lo posible, los elementos adicionales como bolsillos, bocamangas, botones, partes vueltas hacia arriba, cordones, etc. Para evitar la suciedad y el peligro de enganches.

- En los trabajos con riesgo de accidente por enganche se prohíbe el uso de corbatas, bufandas, cinturones, tirantes, pulseras, cadenas, collares, anillos, etc.

10.12 SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD

La señalización es un sistema informativo simplificado, que se sustenta en dos principios fundamentales:

- La presencia de la señalización no elimina el riesgo. Lo que hace es informar, advertir, prohibir u obligar, con lo cual las personas saben de su existencia y son llevadas a actuar en consecuencia.
- La señalización no excluye la obligación del empresario de emplear las medidas preventivas.

10.12.1 SEÑALIZACIÓN OPTICA

Está basada en la percepción visual. Como ejemplo: señales de seguridad, colores de señalización, balizamiento, señales gestuales y señales luminosas.

- **Señales de seguridad**

La elección del tipo de señal y del número y emplazamiento de las señales o dispositivos de señalización a utilizar en cada caso, se realizará teniendo en cuenta las características de la señal, los riesgos, la extensión de la zona a cubrir y el número de trabajadores afectados.

La señalización deberá permanecer en tanto persista la situación que la motiva. Los medios y dispositivos de señalización deberán ser, según los casos, limpiados, mantenidos y verificados regularmente, y reparados o sustituidos cuando sea necesario, de forma que conserven en todo momento sus cualidades intrínsecas y de funcionamiento.

- **Colores de seguridad**

- Rojo: señal de prohibición, peligro-alarma, material y equipos de lucha contra incendios.
- Amarillo o naranja: señal de advertencia, atención, precaución.
- Azul: señal de obligación. Obligación de utilizar protección individual.
- Verde: señal de salvamento o de auxilio (puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o socorro, locales) y situación de seguridad (vuelta a la normalidad).

Las señales pueden ser de advertencia, prohibición, obligación, relativas a los equipos de lucha contra incendios y señales de salvamento y socorro.

- **Balizamiento**

Se entiende por balizar una zona de trabajo el delimitar ésta a fin de que no puedan rebasarse los límites establecidos, con el fin de evitar cualquier tipo de caídas, choque o golpe a las personas que por allí se desplacen.

La delimitación de aquellas zonas de los locales de trabajo a las que el trabajador tenga acceso y en las que se presenten riesgos de caídas de personas, de objetos, choques o golpes, se realizarán mediante colores de seguridad.

- **Señales gestuales**

Se conocen como tales aquellos movimientos o disposición de los brazos o de las manos en forma codificada para guiar a las personas que realizan maniobras que constituyen un riesgo para los trabajadores.

Una señal gestual deberá ser precisa, simple, amplia, fácil de realizar y comprender y claramente distinguible de cualquier otra señal gestual.

- **Señales luminosas**

La señal deberá cumplir una serie de requisitos:

- Deberá provocar un contraste luminoso apropiado respecto a su entorno, en función de las condiciones de su uso previsto.
- La intensidad debe asegurar su percepción, sin llegar a producir deslumbramiento.
- La superficie luminosa que emita una señal, podrá ser de color uniforme, o llevar un pictograma sobre un fondo determinado.
- Si un dispositivo puede emitir una señal, tanto continua como intermitente, utilizará esta última para indicar, con respecto a la continua, una mayor grado de peligro o una mayor urgencia de la acción requerida.
- Cuando se utilice una señal luminosa intermitente, la duración y frecuencia de los destellos deberán permitir la correcta identificación del mensaje, evitando que pueda ser percibido como continuo o confundirse con otras señales luminosas.

- **Comunicación verbal**

Son las comunicaciones que se establecen entre un locutor o emisor y uno o varios agentes, en un lenguaje formado por textos cortos, frases, grupos de palabras o palabras aisladas, eventualmente codificadas.

Entre sus características se deben encontrar las siguientes:

- Los mensajes verbales serán tan cortos, simples y claros como sea posible.
- La aptitud verbal del locutor y las facultades auditivas de los oyentes deberán bastar para garantizar una comunicación verbal segura.
- La comunicación verbal será directa (voz humana) o indirecta (voz difundida por un medio aprobado).

10.12.2 SEÑALIZACIÓN ACUSTICA

Existen casos en los que la señalización óptica no es suficiente o bien, como complemento, se utiliza un sistema acústico mediante el cual la persona percibe la existencia de un riesgo a través de un estímulo de su aparato auditivo.

- **Sirenas y dispositivos acústicos de alarma**

La señal acústica deberá tener un nivel sonoro superior al nivel de ruido ambiental, de forma que sea claramente audible sin llegar a ser excesivamente molesto. El tono de la señal acústica deberá permitir su correcta identificación frente a otras señales acústicas y ruido ambiente. No deberán utilizarse dos señales acústicas simultáneamente.

Entre las aplicaciones más usuales, se citan: voladuras de explosivos en minas, canteras, demoliciones, etc., en grandes máquinas para aviso de maniobra, avisos de emergencia, presencia de gases tóxicos u otros contaminantes

10.12.3 SEÑALIZACIÓN OLFATIVA

Este tipo de señalización utiliza las propiedades odorantes que poseen ciertos productos. Las señales olfativas son, en muchos casos, naturales, porque la persona recibe, sin necesidad de artificios y otros mensajes, la sensación de riesgo.

10.12.4 SEÑALIZACIÓN TACTIL

Se basa en la distinta sensación producida por el tacto de la persona al pasar de una superficie a otra de material diferente. Por ejemplo se citan las utilizadas en las pértigas aislantes, donde la zona de asir tiene una rugosidad especial.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Luís Ortiz Berrocal. “*Resistencia de Materiales*”. McGraw-Hill (1991).
- Carnicer Royo, Enrique. “*Ventilación Industrial*”. Editorial Paraninfo. (1994)
- Megysey, Eugene F. “*Manual de recipientes a presión. Diseño y cálculo*”. Tulsa : Pressure Vessel Handbook Publishing, 1975
- Reina Gómez, Manuel. “*Soldadura de aceros: aplicaciones*”. Madrid : El Autor, 1988
- Rase, Howard Frederick. “*Diseño de tuberías para planta de proceso*”. Madrid : Blume, 1973.
- Claudio Mataix. “*Mecánica de fluidos y Maquinas Hidráulicas*”. Madrid. Ediciones del Castillo, D.L. 1973.
- Perry, Robert H, ed.lit “*Manual del Ingeniero Químico*” Madrid: McGraw-Hill, 2001
- Vignote Peña, Santiago “*Tecnología de la Madera*” Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996
- Wark, Kenneth “*Contaminación del aire: origen y control*”. México: Limusa, 1990
- Nevers, Noel de “*Ingeniería de control de la contaminación del aire*” México: McGraw-Hill, 1998
- Richard W. Greene. “*Válvulas: selección, uso y mantenimiento*”. Mexico[etc.] : McGraw-Hill, 1987
- Fundación Esculapio. “*Manual de Higiene Industrial.*” Sevilla : Esculapio, 1991
- Happe, J.; Jordan; D.G. “*Economía de los procesos químicos*”. Editorial Reverte. 1981

- Oficina Internacional del Trabajo. Reglamento – Tipo de Seguridad en los establecimientos industriales, para guía de los gobiernos y de la industria.
- David Frey. “Autocad 2000”. Madrid : Anaya Multimedia, 1999
- Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid. “Dibujo Técnico. Normas básicas”. Madrid : AENOR, 1999

Direcciones de Internet:

- www.epa.gov
- www.fao.org
- www.ihobe.net
- www.mtas.es
- www.mma.es
- www.msc.es
- www.estrucplan.com.ar
- www.aserma.org
- www.salvadorescoda.com

INDICE DE ANEXOS DE CÁLCULOS

	Página
1. CALCULOS DE TUBERIAS	180
1.1 Tramo sierra – tubería principal.....	181
1.2 Tramo campana – tubería principal.....	183
1.3 Primer tramo de tubería principal.....	185
1.4 Segundo tramo de tubería principal.....	187
1.5 Tercer tramo de tubería principal.....	190
1.6 Ultimo tramo de tubería principal.....	193
1.7 Tramo de tubería ventilador – ciclón.....	196
1.8 Tabla de resultados.....	199
2. CALCULO DE LA CAMPANA EXTRACTORA.....	203
3. VENTILADOR.....	206
3.1 Conceptos.....	206
3.2 Clasificación.....	207
3.3.1 Ventiladores axiales.....	207
3.3.2 Ventiladores centrífugos.....	209
3.3 Selección del ventilador.....	210
4. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE PARTICULAS.....	216
4.1 Equipo de captación mecánica.....	216
4.1.1. Separador ciclónico.....	216
4.1.2. Cámara de sedimentación.....	223
4.1.3. Selección del equipo de captación mecánica.....	228
4.2. Filtros tejido.....	230
4.2.1. Selección del filtro tejido.....	233
4.3. Selección del sistema de captación.....	239

5. DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO.....	245
5.1. Dimensiones del tanque.....	246
5.2. Cálculo del espesor de la envolvente	247
5.3. Espesor del fondo.....	248
5.4. Tensiones longitudinales en la envolvente debidas a la Presión interior.....	248
5.5. Pesos y Tensiones debidas a pesos en elevación.....	249
5.6. Tensiones debidas al viento.....	250
5.7. Fatigas Admisibles	251
5.8. Carga debida a seismos	252
5.9. Espesor en función de las Presiones de Prueba	254
5.10. Espesor del fondo inferior debido en función de Presión de Prueba	256
5.11. Tensiones longitudinales debidas a Presión de Prueba	257
5.12. Momento Flectores debido al empuje de tuberías y a cargas Excéntricas.....	258
5.13. Comprobación del espesor de virolas bajo esfuerzos Combinados de Presión interior y elevación	259
5.14. Patas	261
5.15. Boca de Inspección	261
5.16. Venteo	261

1. CALCULO DE TUBERIAS

Los diámetros internos de tuberías se determinarán de manera que la velocidad del gas a través de la tubería principal esté entre 15 y 25 m/s. Valores excesivamente altos de la velocidad provocarían pérdidas de carga elevadas y esto a su vez, un gasto innecesario de potencia para la impulsión del gas, aunque el tamaño del conducto sería más pequeño. Valores excesivamente bajos de la velocidad, podrían provocar la sedimentación de las partículas y estas no serían arrastradas.

Todas las tuberías de transporte del gas estarán formadas por tubos sin soldar de acero al carbono y cumplen con las normas ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos clases: primarias y secundarias. Las *perdidas primarias* son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería, rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre si. Tienen lugar en flujo uniforme, por tanto en tramos de tubería de sección constante. Las *perdidas secundarias* son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones, codos, válvulas y en toda clase de accesorios de la tubería.

Para calcular la *Pérdida de Carga Total* " H_T " debido a tuberías y accesorios dividiremos el circuito de tuberías en tramos. Tendremos ocho tramos hasta llegar al ventilador. De esos ocho tramos, tres de ellos se pueden agrupar en uno solo que son los que van desde las máquinas que cortan (sierras) hasta la tubería principal. Hallaremos

el *Coefficiente de Resistencia Total “K”*, posteriormente la *Pérdida de Carga Total en cada tramo* y al sumar éstos últimos obtendremos “ H_T ”.

1.1 TRAMO SIERRAS – TUBERIA PRINCIPAL

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 800m^3 / h = 0,222m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

- V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 11 m/s.
- D; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,222}{11 \cdot \pi}} = 0,16m$$

Según normativa ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	8	219,1	8,18	202,7

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{0,222}{\pi \cdot 0,2030^2 / 4} = 6,859 \text{ m/s}$$

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{\text{Tubería}} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,033 \cdot \frac{32}{0,2030} = 5,202 \text{ m}$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,033$.

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,2030 \cdot 6,859}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 92312$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 6,859m/s

D : diámetro interior = 0,2030 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00024$$

$$- L: \text{Longitud total: } 8 \cdot 4 = 32 \text{ m}$$

o Accesorios:

El factor K, coeficiente de pérdida de carga secundaria, depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración de la corriente de gas antes del accesorio. El valor correspondiente a este parámetro para los distintos tipos de accesorios que se han tenido en cuenta se ha obtenido bibliográficamente.

- 4 Conexiones en T; $K = 1,75 \times 4 = 7$
- 4 Codos 90°; $K = 4 \times 0,6 = 2,4$
- 4 Codos 45°; $K = 0,4 \times 4 = 1,6$

$$K_{\text{ACCESORIOS}} = 11$$

Por tanto el **Coefficiente de Resistencia Total del tramo** es:

$$K_{\text{TRAMO}} = K_{\text{TUBERÍA}} + K_{\text{ACCESORIOS}} = 5,202 + 11 = 16,202$$

• **Pérdida de Carga del Tramo:**

$$H_{\text{TRAMO}} = K_{\text{TRAMO}} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 16,202 \cdot \frac{6,859^2}{2 \cdot 9,81} = 38,85 \text{ m}$$

1.2 TRAMO CAMPANA – TUBERÍA PRINCIPAL

o Tramo de Tubería:

$$K_{\text{Tubería}} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,022 \cdot \frac{5,35}{0,357} = 0,3298$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,022$

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,3568 \cdot 20}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 473104$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 20m/s

D : diámetro interior = 0,3568 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material.

Para acero comercial:

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00013$$

- L : Longitud total: 5,35

o Accesorios y campana

Los siguientes valores del coeficiente de perdida de carga han sido tomados bibliográficamente:

- 1 Codo 90° ; $K = 1 \times 0,6 = 0,6$

- 1 Conexiones en T; $K = 1,75 \times 1 = 1,75$

- Según la EPA el factor de pérdida de carga para una campana ahusada con reducción a 45° y conductos redondos es:

$$K_{\text{CAMPANA}} = 0,06$$

por lo tanto,

$$K_{\text{ACCESORIOS}} = 2,41$$

Por tanto el **Coefficiente de Resistencia Total del tramo** es:

$$K_{\text{TRAMO}} = K_{\text{TUBERÍA}} + K_{\text{ACCESORIOS}} = 0,3298 + 2,41 = 2,7398$$

- **Pérdida de Carga del Tramo:**

$$H_{\text{TRAMO}} = K_{\text{TRAMO}} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 2,7398 \cdot \frac{20^2}{2 \cdot 9,81} = 55,857m$$

1.3 PRIMER TRAMO DE TUBERIA PRINCIPAL

Este tramo de tubería corresponde al que va desde el final del conducto principal donde se incorpora el ramal de conducto proveniente del carro - sierra hasta el primer ensanchamiento en el que se incorpora el ramal que procede de la máquina troceadora.

Para hallar el diámetro del conducto y la pérdida de carga originada por el mismo se utilizara el mismo método que en el tramo anterior. Se tomara una velocidad promedio de 25m/s ya que esta se considera según la EPA una velocidad adecuada para que este tipo de partículas en concreto no sedimenten en el tubo.

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 800m^3 / h = 0,222m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

- V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 25 m/s.
- D ; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,222}{25 \cdot \pi}} = 0,106m$$

Según normativa ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	5	141,3	6,55	128,2

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{0,222}{\frac{\pi \cdot 0,127^2}{4}} = 17,52m / s$$

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{Tubería} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,027 \cdot \frac{2,5}{0,127} = 0,531$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,027$.

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,127 \cdot 17,52}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 147516$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 17,52m/s

D : diámetro interior = 0,127 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00037$$

- L : Longitud total: 2,5m

• **Pérdida de Carga del Tramo:**

$$H_{TRAMO} = K_{TRAMO} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,531 \cdot \frac{18,52^2}{2 \cdot 9,81} = 8,31m$$

1.4 SEGUNDO TRAMO DE TUBERIA PRINCIPAL

Este es el que corresponde al tramo que va desde el primer hasta el segundo ensanchamiento, a él se incorpora el ramal de uno de los conductos que provienen de la máquina automática. El diámetro de la tubería y la pérdida de carga se hallaran de la misma forma que en los tramos anteriores, teniendo en cuenta una velocidad de transporte adecuada.

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 1600m^3 / h = 0,444m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

- V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 25 m/s.
- D ; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,444}{25 \cdot \pi}} = 0,150m$$

Según normativa ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	6	168,3	7,11	154,1

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{0,444}{\pi \cdot 0,152^2 / 4} = 24,04 \text{ m/s}$$

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{\text{Tubería}} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,026 \cdot \frac{2,5}{0,152} = 0,427$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,026$

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,152 \cdot 20,04}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 242578$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 24,04m/s

D : diámetro interior = 0,152 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00032$$

- *L*: Longitud total: 2,5m

- **Pérdida de Carga de la tubería:**

$$H_{Tuberia} = K_{Tuberia} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,427 \cdot \frac{24,04^2}{2 \cdot 9,81} = 12,57m$$

- **Perdida de carga debida al ensanchamiento**

La perdida de carga media debida a un ensanchamiento brusco se halla mediante la siguiente formula:

$$H_{Ensamamiento} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g}$$

donde:

- V_1 ; velocidad de transporte del tramo de conducto anterior al ensanchamiento

- V_2 ; velocidad de transporte del tramo de conducto posterior al ensanchamiento

$$H_{Ensamamiento} = \frac{(17,52 - 24,04)^2}{2 \cdot 9,81} = 2,16m$$

- **Perdida de carga total**

$$H_{\text{Tramo}} = H_{\text{Tubería}} + H_{\text{Ensanchamiento}} = 2,16 + 12,57 = 14,73m$$

1.5 TERCER TRAMO DE TUBERIA PNCIPAL

Este es el tramo de tubería que corresponde desde el segundo hasta el tercer ensanchamiento. Al principio de esta tubería va incorporado el segundo ramal de conducto que proviene de la máquina automática y al final de la misma el que proviene de la campana. El procedimiento a seguir será igual a los casos anteriores teniendo en cuenta una velocidad del conducto adecuada y que uno de los ramales se conecta al principio del tramo de tubería principal y el otro al final.

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 3200m^3 / h = 0,888m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

- V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 25 m/s.
- D; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,888}{25 \cdot \pi}} = 0,212m$$

Según normativa ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	10	273,1	9,27	254,5

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{0,888}{\pi \cdot 0,2538^2 / 4} = 17,55 \text{ m/s}$$

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{Tubería} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,025 \cdot \frac{3}{0,2538} = 0,295$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,025$

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,2538 \cdot 17,55}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 295305$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 17,55m/s

D : diámetro interior = 0,2538 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00019$$

- L : Longitud total: 3m

- **Pérdida de Carga de la tubería:**

$$H_{Tuberia} = K_{Tuberia} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,2955 \cdot \frac{17,55^2}{2 \cdot 9,81} = 4,63m$$

- **Perdida de carga debida al ensanchamiento**

La perdida de carga media debida a un ensanchamiento brusco se halla mediante la siguiente formula:

$$H_{Ensamamiento} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g}$$

donde:

- V_1 ; velocidad de transporte del tramo de conducto anterior al ensanchamiento

- V_2 ; velocidad de transporte del tramo de conducto posterior al ensanchamiento

$$H_{Ensamamiento} = \frac{(24,04 - 17,55)^2}{2 \cdot 9,81} = 1,54m$$

- **Perdida de carga total**

$$H_{Tramo} = H_{Tuberia} + H_{Ensamamiento} = 4,63 + 1,54 = 6,17m$$

1.6 ULTIMO TRAMO DE TUBERIA PRINCIPAL

Este es el ultimo tramo de la tubería principal así que este tramo de conducto es el que va conectado al ventilador, por él circula la totalidad del caudal de aspiración proveniente de todos y cada uno de los ramales. El procedimiento a seguir es igual que en los casos anteriores.

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 10400m^3 / h = 2,88m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

- V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 25 m/s.
- D; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,022}{25 \cdot \pi}} = 0,3923m$$

Según normativa ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	16	406,4	12,70	381,0

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{2,88}{\pi \cdot 0,4061^2 / 4} = 22,25 \text{ m/s}$$

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{\text{Tubería}} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,020 \cdot \frac{2,5}{0,4061} = 0,1231$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,020$.

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,4061 \cdot 22,25}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 598906$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 22,25m/s

D : diámetro interior = 0,4061 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00012$$

- L : Longitud total: 2,5m

- **Pérdida de Carga de la tubería:**

$$H_{Tuberia} = K_{Tuberia} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,1231 \cdot \frac{22,25^2}{2 \cdot 9,81} = 3,107m$$

- **Perdida de carga debida al ensanchamiento**

La perdida de carga media debida a un ensanchamiento brusco se halla mediante la siguiente formula:

$$H_{Ensanchamiento} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2 \cdot g}$$

donde:

- V_1 ; velocidad de transporte del tramo de conducto anterior al ensanchamiento

- V_2 ; velocidad de transporte del tramo de conducto posterior al ensanchamiento

$$H_{Ensanchamiento} = \frac{(17,55 - 22,25)^2}{2 \cdot 9,81} = 1,126m$$

- **Perdida de carga total**

$$H_{Tramo} = H_{Tuberia} + H_{Ensanchamiento} = 3,107 + 1,126 = 4,23m$$

1.7 TRAMO DE TUBERIA VENTILADOR - CICLON

Este tramo de tubería, no incluido en el circuito anterior, es el correspondiente al recorrido del fluido desde el ventilador al ciclón. Este tramo de tubería, a diferencia de los anteriores no va instalado en el interior de la nave puesto que une al ventilador con el ciclón y ambos aparatos se encuentran en el exterior, pero el procedimiento a seguir para el cálculo de la pérdida de carga es el mismo.

El diámetro interior de la tubería se calcula:

$$Q = 10400m^3 / h = 2,88m^3 / s$$

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

-V; la velocidad máxima del fluido, que tomará el valor de 22.25 m/s, puesto que es la velocidad a la que sale del ventilador

-D; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,022}{22,25 \cdot \pi}} = 0,405m$$

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40S	16	406,4	12,70	381,0

- **El coeficiente de Resistencia de:**

- Tramo de Tubería:

$$K_{Tubería} = f \cdot \frac{L}{D} = 0,020 \cdot \frac{2,5}{0,4061} = 0,1231$$

siendo:

- f : factor de fricción para tubería comercial y se puede calcular a través de la Gráfica de Moody conociendo el *Número de Reynold* “ Re ” y la *Rugosidad Relativa* “ ε/D ” función a su vez del tipo de material. Siendo su valor en este caso de $f = 0,020$

- *Número de Reynold*

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1,2 \cdot 0,4061 \cdot 22,25}{1,81 \cdot 10^{-5}} = 598906$$

ρ : densidad del aire = 1,2 Kg/m³

v : velocidad del gas = 22,25m/s

D : diámetro interior = 0,4061 m

μ : viscosidad del aire = 1,81·10⁻⁵ kg /m s

- *Rugosidad Relativa*. Este valor se obtiene de una grafica en la que se representa ε/D frente al diámetro de la tubería, para distintos tipos de material. Para acero comercial

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00012$$

- L : Longitud total: 2,5m

- **Pérdida de Carga de la tubería:**

$$H_{Tuberia} = K_{Tuberia} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = 0,1231 \cdot \frac{22,25^2}{2 \cdot 9,81} = 3,107m$$

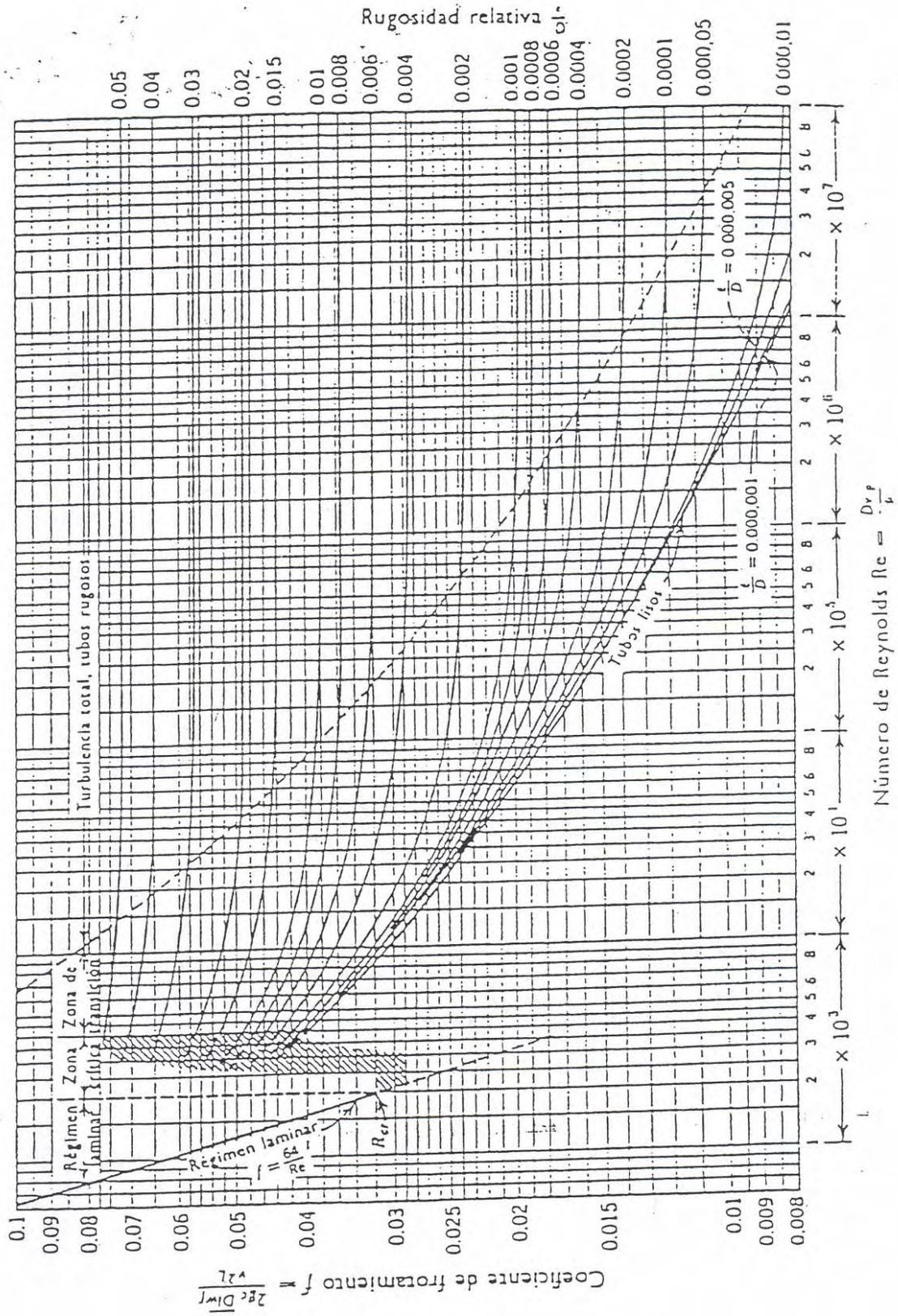
1.8 TABLA DE RESULTADOS

TRAMO	PERDIDA DE CARGA (m)	CAUDAL (m ³ /s)
Sierras-tubería principal	38,85	800
Campana-tubería principal	55,85	7200
Primer tramo tubería principal	8,23	800
Segundo tramo tubería principal	14,73	1600
Tercer tramo tubería principal	6,17	3200
Cuarto tramo tubería principal	4,23	10400
Ventilador-ciclón	3,107	10400
TOTAL	131,167	10400

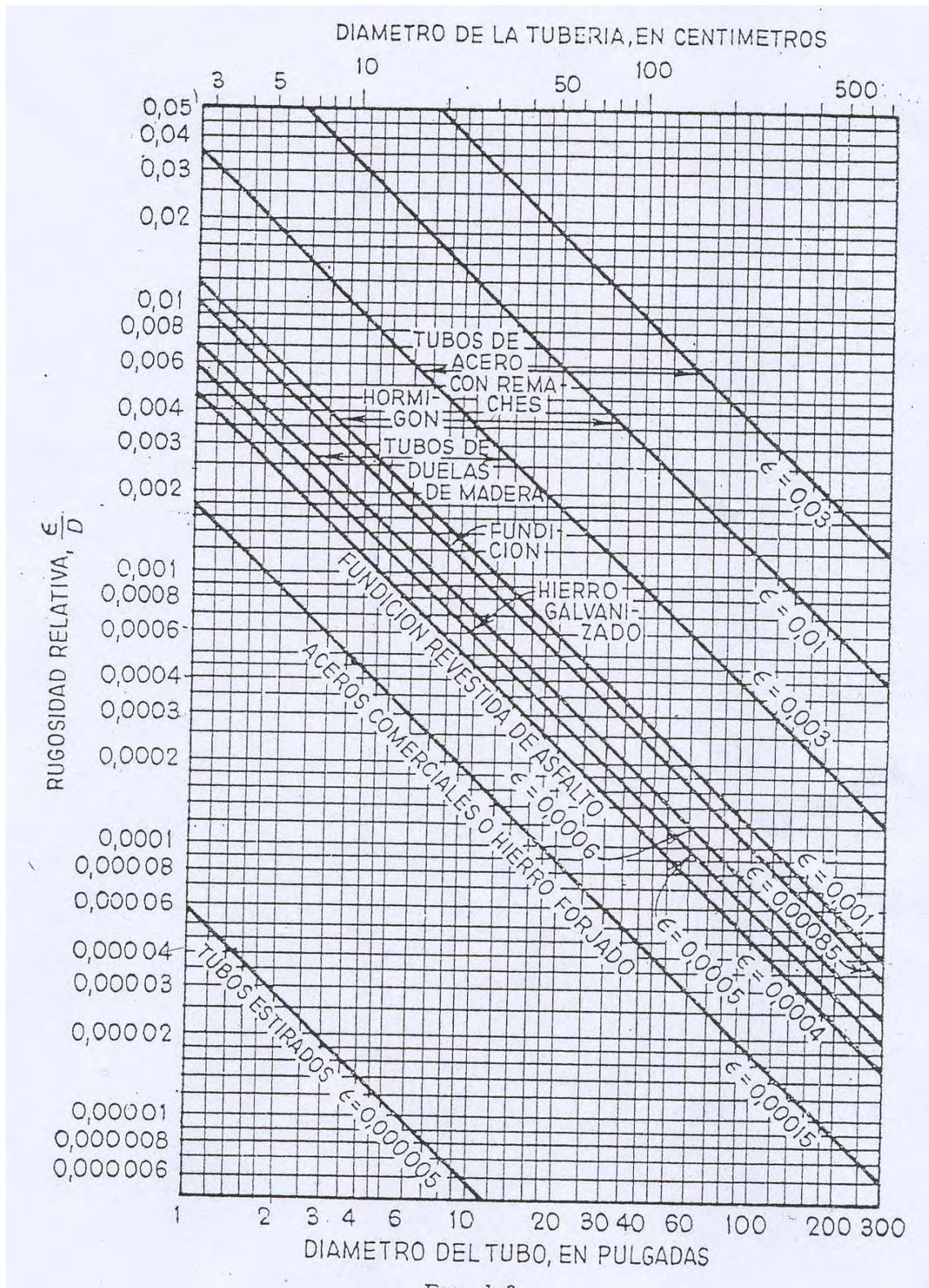
Tabla 1. Dimensiones de tubos de acero de Calibre 40

Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)	Diámetro exterior		Grosor de la pared		Diámetro interior		
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pie)	(mm)
$\frac{1}{8}$	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8
$\frac{1}{4}$	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2
$\frac{3}{8}$	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5
$\frac{1}{2}$	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8
$\frac{3}{4}$	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6
1 $\frac{1}{4}$	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1
1 $\frac{1}{2}$	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5
2 $\frac{1}{2}$	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9
3 $\frac{1}{2}$	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7

Gráfica 1. Factor de fricción, gráfica de Moody



Gráfica 2. Rugosidad Relativa



2. CALCULO DE LA CAMPANA

EXTRACTORA

Se denomina campana a todos los tipos de aperturas por donde penetra el aire a los conductos. La eficacia de una campana depende básicamente de su capacidad para generar en las cercanías del foco de emisión del contaminante velocidades de aire que contrasten el efecto de las corrientes ya existentes en la zona, dichas corrientes son, en general, provocadas por el proceso contaminante o están estrechamente ligadas a él.

Los condicionantes de la instalación, debido al tamaño de la máquina pulidora, obligan a que la campana tenga unas dimensiones de 1,15 x 0,80 m² de superficie y 0,45 m de alto con el objetivo de encerrar al máximo posible el foco contaminante, ya que el caudal de aire a extraer será tanto menor cuanto más encerrado quede dicho foco en el interior de la campana. La distancia mínima entre la zona contaminante y el borde de la campana es de 1 m (este se considera el mínimo espacio suficiente para que el trabajador pueda utilizar cómodamente la máquina pulidora). Y la velocidad de captación, es decir, la velocidad que necesita el aire en la boca de la campana para poder vencer las corrientes contrarias y arrastrar al contaminante obligándole a entrar en la misma es de 1 m/s.

Según la EPA (Environmental Protection Agency) la ecuación de diseño de una campana ahusada de este tipo es la siguiente:

$$Q = 2 \cdot x \cdot u_c$$

donde:

- Q; la razón de flujo aspirado hacia dentro de la campana
- X ; distancia desde la campana a la fuente
- u_c; velocidad de captura de la campana

$$Q = 2 \cdot 1 \cdot 1 = 2m^3 / s$$

Una vez calculado el caudal de aspiración y conociendo el valor de la velocidad de transporte se puede hallar el diámetro del conducto el cual va a conducir la emisión capturada. La velocidad de transporte o velocidad en el conducto es la necesaria para evitar que las partículas en suspensión sedimenten y queden depositadas en el conducto. Esta es una variable que debe escogerse cuidadosamente ya que si es muy baja el conducto estará sobredimensionado y si es muy alta, la caída de presión estática será excesiva, como lo será el correspondiente consumo de energía del ventilador. Según la EPA, la velocidad de transporte varía típicamente desde 10 a 30 m/s, dependiendo de la composición del gas residual. La velocidad en el conducto más baja será adecuada para gas residual conteniendo contaminantes gaseosos o polvos ligeros muy finos; mientras que la velocidad más alta sería para conducir una corriente con una gran cantidad de metales u otros materiales pesados o húmedos.

De acuerdo con la EPA, con otras bibliografías consultadas y con el tipo de material que se esta tratando (serrín en su mayor parte) en este caso se ha tomado un valor promedio de 20 m/s para la velocidad de transporte en el conducto de la campana.

El diámetro interior de la tubería se halla mediante la siguiente formula:

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}}$$

donde:

-V; la velocidad promedio del fluido, que tomará el valor de 20 m/s.

-D; el diámetro interior de la tubería

$$Q = v \cdot S = v \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{20 \cdot \pi}} = 0,356m$$

Según normativa ANSI B 36.19-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970 la tubería comercial con diámetro interior inmediatamente superior es:

Cédula	Medida nominal (Pulgadas)	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)	Diámetro interior (mm)
40	14	355,6	11,15	356

Recalculo la velocidad del gas con dicho diámetro interior a través de la siguiente fórmula:

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} = \frac{2}{\pi \cdot 0,356^2 / 4} = 20 \text{ m/s}$$

3. VENTILADOR

3.1. CONCEPTOS

- **Ventilador**

Se define por ventilador una turbo-máquina de fluido para gases que absorbe la energía mecánica y restituye energía a un gas comunicándole un incremento de presión y que utiliza un rodete como unidad impulsora. Un ventilador tiene como mínimo una abertura de aspiración y una abertura de impulsión. Las aberturas pueden tener o no elementos para su conexión al conducto de trabajo.

Los ventiladores también se conocen con el nombre de extractores. La diferencia entre ambos consiste en que el primero descarga el aire venciendo una cierta presión en su boca de salida; el segundo saca el aire por aspiración y lo descarga con una ligera presión.

- **Caudal Q**

El caudal de un ventilador, es la masa de aire que este puede desplazar en una unidad de tiempo. Se expresa en m³/h.

- **Presión dinámica**

Es la fuerza por unidad de superficie provocada por el movimiento del aire y se manifiesta en el mismo sentido que la dirección de éste. Dicha presión es siempre positiva.

- **Presión estática**

Es el valor de la fuerza que ejerce el aire sobre las paredes de las tuberías, en sentido perpendicular a ellas. Esta presión es positiva cuando es mayor que la atmosférica. Si las paredes de la tubería fuesen elásticas veríamos como se dilatarían (sobrepresión). Cuando es negativa, es decir, menor que la presión atmosférica, las paredes se contraerían (depresión).

- **Presión total**

Es la suma de la presión estática y la dinámica. La unidad de presión utilizada es mm H₂O (milímetros columna de agua)

3.2. CLASIFICACION

Los ventiladores pueden dividirse en dos grandes grupos según la dirección del flujo en: ventiladores axiales o helicoidales y ventiladores radiales o centrífugos. Los primeros lanzan el aire en dirección axial y, en los segundos, la corriente de aire se establece radialmente a través del rodete. También pueden clasificarse según la presión desarrollada en de baja, media o alta presión. Van accionados por medio de un motor eléctrico y la transmisión puede ser directa o por medio de poleas y correas trapezoidales.

3.2.1. VENTILADORES AXIALES

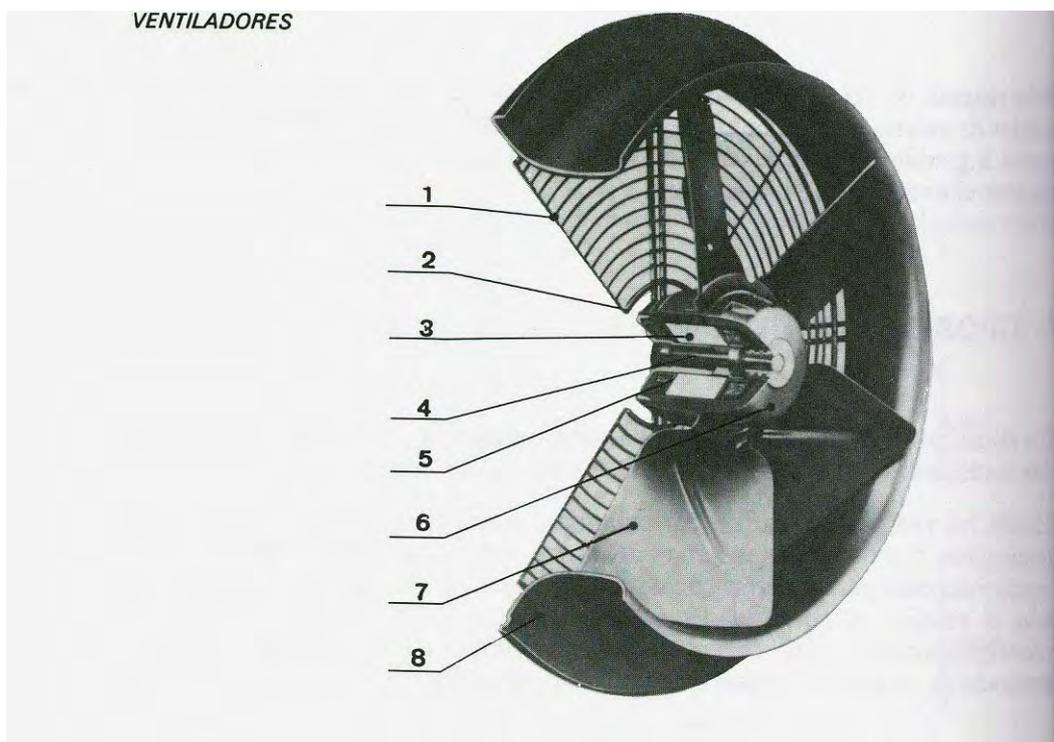
En estos ventiladores la corriente de flujo gaseoso es esencialmente paralela al eje longitudinal o eje de giro de la hélice o rodete, y son especialmente apropiados para la impulsión o aspiración de grandes volúmenes de aire a baja presión, entendiéndose por tal cuando la presión del ventilador es inferior a 80 mm de c.d.a., caso que no es el nuestro. Al tener poca presión disponible sólo se pueden aplicar, donde la resistencia al

flujo de aire es baja, es decir, en instalaciones de pocos metros de conducto y aún éste del mismo diámetro de la hélice.

Este tipo de ventilador se utiliza más frecuentemente en montaje mural, en extracción o en impulsión de aire sin mediación de conductos.

Un ventilador helicoidal está compuesto por una virola, una hélice y sistema de accionamiento. La hélice tiene un núcleo al cual se fijan las palas perfiladas y dispuestas formando un ángulo dado. Si las palas no tuvieran ningún ángulo de ataque más acción tiene la hélice sobre el aire.

Su composición simple lo convierte en un aparato barato en comparación con su caudal.



Sección de un ventilador axial; 1.rejilla de protección, 2.rotor, 3.estator, 4.eje, 5.bobinas, 6.cubo, 7.palas, 8.marco soporte.

3.2.2 VENTILADORES CENTRÍFUGOS

Este tipo de ventiladores consiste esencialmente en una rueda o rodete provisto de una serie de alabes o paletas radiales, denominada turbina, que gira dentro del interior de una envolvente con figura de espiral, llamada voluta, y ésta tiene dos bocas, una de aspiración situada en el eje de la turbina y otra de impulsión abierta tangencialmente con relación al rodete. Por la acción de la fuerza centrífuga causada por la rotación de la turbina, el fluido gracias a los alabes es despedido hacia la periferia, donde lo recoge la voluta, de sección creciente en forma gradual y lo conduce al orificio de salida transformando parcialmente la energía cinética en energía estática o presión. El lanzamiento del fluido a la periferia crea en la boca de aspiración una depresión que facilita la entrada del fluido en cantidad igual a la desalojada, estableciéndose de esta manera un caudal continuo, y la suma de la depresión en la boca de aspiración y la de presión en la boca de impulsión representan la altura manométrica total ejercida por el ventilador.

El rendimiento de estos ventiladores es limitado a causa de que el aire impulsado cambia 90°. Es decir, el flujo entra de manera axial, gira en ángulo recto a través de los alabes y es despedido en dirección radial. Esto provoca pérdidas de carga producidas por el choque y los remolinos.

La utilización de un centrífugo se hace para toda clase de caudales y cuando se alcance una determina presión. Un ventilador centrífugo es mucho más caro que un ventilador helicoidal pero tiene una mayor flexibilidad de empleo.

Como se mencionó anteriormente se pueden distinguir tres tipos de ventiladores según la presión que promueven:

- *Baja presión:* cuando la presión del ventilador es inferior a 72 mm de c.d.a
- *Media presión:* si la presión esta comprendida entre 72 y 360 mm de c.d.a
- *Alta presión:* en la circunstancia de que la presión del ventilador sea superior a 360 mm de c.d.a

3.3 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para seleccionar el ventilador adecuado a nuestro sistema habrá que decidir la elección entre un ventilador axial o uno centrífugo. E igualmente entre uno de baja, media o alta presión.

Se descarta la opción de elegir un ventilador axial teniendo en cuenta que estos son apropiados para trabajar a presiones inferiores a 80 mm de c.d.a. Otro inconveniente de este tipo de ventiladores es que son muy ruidosos y que se utilizan cuando no existen conductos.

Una vez decidida la elección casi obligada del ventilador centrífugo por trabajar este con elevadas presiones, ser bastante silencioso y tener un alto rendimiento habrá que seleccionar entre estos el más adecuado al sistema.

La elección de los ventiladores centrífugos se realiza en función: del caudal de aire necesario, de la presión total, que no sobrepasen el valor máximo en la escala de nivel sonoro (80 dB) y de consideraciones económicas.

Además hay que tener en cuenta que la presión total dada por el ventilador debe ser igual o sensiblemente superior a la suma de la presión estática necesaria que debe crear en el lado de impulsión de aire y a las pérdidas de carga originada en los conductos y en accesorios que se oponen a la libre comunicación del aire.

- **Calculo de la potencia del ventilador:**

Para calcular la potencia del ventilador se utiliza la siguiente formula:

$$P_{MÁQUINA} = \frac{P_{ABSORBIDA}}{\eta} (KW)$$

donde:

- $P_{MÁQUINA}$; es la potencia generada por el ventilador, es decir la potencia útil transmitida al aire.

- η ; es el rendimiento mecánico del ventilador, normalmente el valor de este parámetro es suministrado por el fabricante del aparato. En este caso se ha tomado un valor de 0,8 ya que ese tipo de ventiladores tiene el inconveniente de tener un rendimiento limitado.

- $P_{ABSORBIDA}$; es la potencia necesaria para moverlo añadiendo además los elementos del sistema de accionamiento que se considera como parte del ventilador.

Por otro lado $P_{ABSORBIDA}$ se expresa como:

$$P_{ABSORBIDA} = \rho \cdot Q \cdot W (Kw)$$

donde:

- ρ ; es la densidad del gas a mover

- Q ; es el caudal del gas

- W ; es la potencia requerida para moverlo

Esta potencia, a su vez viene dada por:

$$W = W_{PERDIDAS} + W_{ACELERACIÓN} (J / Kg)$$

Las pérdidas de carga fueron calculadas en el apartado de calculo de tuberías y se obtuvo el siguiente resultado:

$$H_T = 131,167 \text{ m}$$

$$W_{PÉRDIDAS} = H_T \cdot g = 131.167 \cdot 9081 = 1286,75 (J / Kg)$$

La aceleración requerida será

$$W_{ACELERACIÓN} = \frac{V^2}{2} (J / Kg)$$

por lo tanto,

$$W_{ACELERACIÓN} = \frac{22,25^2}{2} = 247,53 (J / Kg)$$

sustituyendo estos valores se tiene que

$$W = W_{PERDIDAS} + W_{ACELERACIÓN} = 1286,75 + 247,53 = 1534,28 (J / Kg)$$

y por lo que

$$P_{ABSORBIDA} = \rho \cdot Q \cdot W = 1,2 \cdot 2,88 \cdot 1534,28 = 5302,47 (J / s) = 5302,47 w$$

$$P_{ABSORBIDA} = 5302,47 w = 5,30247 Kw$$

Esta es la potencia necesaria para mover el aire por las tuberías, puesto que solo se han incluido las pérdidas de carga generadas por el circuito de tuberías y por los accesorios. Al sumarle la potencia necesaria para el funcionamiento del ciclón, es decir, la pérdida de carga generada por el ciclón, tendremos la potencia total absorbida que requiere el sistema.

La pérdida de carga generada por el ciclón es calculada en el apartado *Equipo de Captación Mecánica* y es la siguiente:

$$E = 1,71 Kw$$

Por lo que la potencia total absorbida que requiere el sistema es:

$$P_{\text{ABSORBIDA total}} = 5,30247 + 1,71 = 7 \text{ Kw}$$

Para $\eta=0,8$, la potencia del ventilador será:

$$P_{\text{MÁQUINA}} = \frac{7}{0,8} = 8,75 \text{ Kw}$$

Después de realizar los cálculos correspondientes para saber la potencia necesaria del ventilador de nuestro sistema, ya tenemos todos los datos para poder elegir el ventilador mas adecuado de un catálogo de ventiladores.

Como se mencionó anteriormente la elección de los ventiladores centrífugos se realiza en función: del caudal de aire necesario, de la presión total, es decir, la potencia necesaria, que no sobrepasen el valor máximo en la escala de nivel sonoro (80 dB) y de consideraciones económicas.

$$Q = 10880 \text{ m}^3/\text{h} = 2,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_T = 158,05 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$P_{\text{MÁQUINA}} = 8,75 \text{ Kw} = 11,90 \text{ CV}$$

Con estos datos y consultado el catálogo general de la empresa Sodeca se ha llegado a la conclusión que el ventilador que mejor se adapta a este sistema es un ventilador centrifugo de mediana presión mas concretamente el modelo CMP-1845-4T-10. Sus características técnicas son las siguientes:

1	Modelo	2	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)		Potencia instalada (Kw)	Caudal Máximo (m ³ /h)	Nivel sonoro dB(A)	Peso aprox. (Kg)
	CMP-2050-4T-12,5		1400	230V	400V	9,20	11500	79	178
				30,80	17,80				

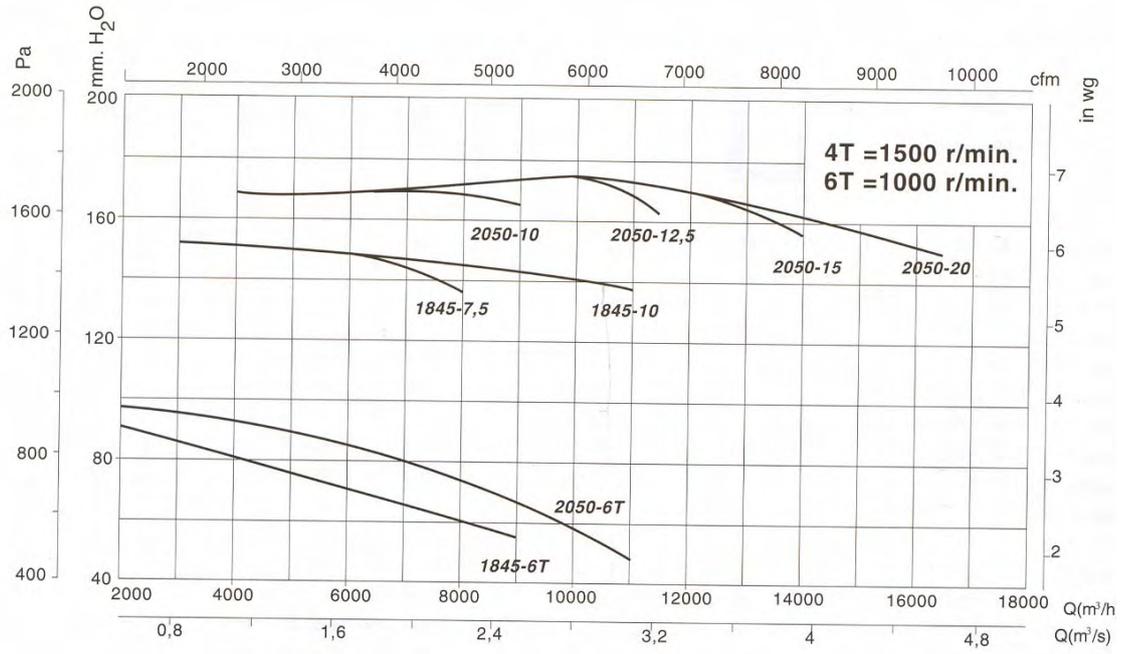
El fabricante también nos suministra la curva característica. Esta curva es la unión gráfica en unos ejes de coordenadas de todos los valores resultantes de los ensayos realizados al ventilador, en el laboratorio de la empresa suministradora del ventilador. Esta curva representa la totalidad de posibles puntos de trabajo del ventilador. Sobre la curva característica se puede observar como el caudal Q, representado en el eje de abscisas, disminuye a medida que aumenta la presión estática (Pe), en el eje de ordenadas siendo el caudal máximo cuando la presión estática es 0, lo que se denomina caudal de descarga libre. De esta forma se aprecia que la curva del ventilador proporciona de forma gráfica los caudales que puede desarrollar el ventilador en función de la presión que le exijamos. Los datos facilitados por el fabricante en la curva característica, corresponden a:

-Temperatura: 20° C

-Densidad del aire 1,2 Kg/m³

Presión atmosférica 760 mm.Hg.

Curva característica



4. EQUIPO DE CAPTACION MECANICA

4.1. EQUIPO DE CAPTACIÓN MECÁNICA.

La captación de partículas de una corriente de gas requiere primero su separación de la corriente y luego su deposición sobre una superficie de captación.

En los captadores mecánicos las fuerzas que actúan sobre las partículas para separarlas de la corriente de gas son de tipo mecánico: fuerzas gravitatorias, centrifugas e inerciales. La magnitud de estas fuerzas depende, entre otros factores, de la masa de las partículas.

4.1.1 SEPARADOR CICLÓNICO

El equipo de captación mecánica seleccionado para este sistema de depuración de aire es un ciclón. Este recolector mecánico, cuyo nombre técnico más acertado es separador centrífugo de polvo, es una máquina que utiliza la inercia para remover las partículas de la corriente de gas.

En un ciclón convencional el gas penetra tangencialmente por la parte superior del cuerpo cilíndrico siendo obligado a seguir un movimiento de tipo espiroidal descendente (por el vórtice externo) simplemente debido a la forma del ciclón y a la entrada tangencial del gas. De esta manera, las partículas adquieren una velocidad angular y debido a su mayor inercia, tienden a desplazarse en dirección tangencial, atravesando las líneas de corriente del gas y dirigiéndose hacia la pared del ciclón. En

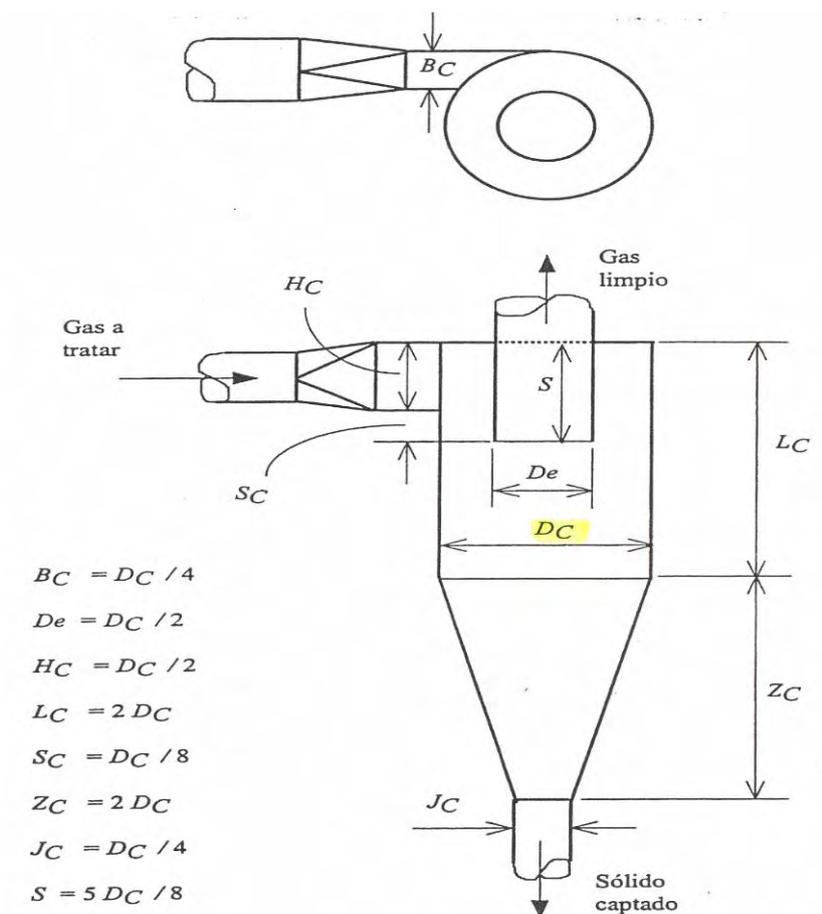
cualquier parte del equipo la velocidad de la partícula presenta tres componentes: radial, tangencial y vertical descendente.

Las partículas que llegan a la pared resbalan por gravedad siendo arrastradas en su movimiento descendente por el movimiento vertical descendente del gas. Una vez alcanzado el cuerpo cónico del equipo, las partículas son dirigidas al punto de descarga.

Por lo que respecta al gas, este sigue su movimiento vorticial descendente hasta una cierta región de la parte cónica donde se invierte la dirección, ahora ascendente, aunque no el sentido de rotación. Este vórtice interno conduce al gas limpio hacia el conducto de salida situado en la parte superior.

• **Dimensiones**

Las dimensiones de un ciclón convencional son las que se muestran en la siguiente figura:



Lo primero que se dimensiona al realizar el diseño del ciclón es la boca de entrada al cilindro y para ello se parte de los valores de la corriente del gas de entrada, en este caso:

$$Q = 2,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 22,25 \text{ m/s}$$

donde:

-Q; es el caudal de gas a tratar

-V; es la velocidad del gas a la entrada del ciclón

Según la Escuela de Organización Industrial Andalucía, la velocidad de entrada del gas en el ciclón puede estar entorno a los 20 m/s. Si al calcular la pérdida de carga del aparato resulta excesiva ésta se puede bajar reduciendo la velocidad de entrada del gas.

Para calcular el área de la boca de entrada al ciclón se utiliza la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H} = \frac{Q}{\frac{D}{4} \cdot \frac{D}{2}} = \frac{8 \cdot Q}{D^2} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{8 \cdot Q}{v}}$$

donde:

- A es el área de la sección de entrada
- B es la anchura de la boca de entrada
- H es la altura de la boca de entrada

sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{8 \cdot Q}{v}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 2,88}{22,25}} = 1,018 \text{ m}$$

por lo tanto, de acuerdo con las ecuaciones adjuntadas anteriormente con la figura del ciclón:

$$H = \frac{D}{2} = 0,509m$$

$$B = \frac{D}{4} = 0,2545m$$

$$A = B \cdot H = 0,2545 \cdot 0,509 = 0,13m^2$$

Los restantes dimensiones del ciclón se pueden obtener a partir del diámetro del mismo:

$$D_e = \frac{D}{2} = 0,509m$$

$$L = 2 \cdot D = 2,036m$$

$$Z = 2 \cdot D = 2,036m$$

$$S_c = \frac{D}{8} = 0,127m$$

$$J_c = \frac{D}{4} = 0,2545m$$

$$S = \frac{5 \cdot D}{8} = 0,636m$$

- **Cálculo de la eficacia del ciclón**

Un parámetro importante es N, el número de vueltas que da la corriente gaseosa dentro del ciclón. Este parámetro está relacionado con la eficacia del ciclón.

$$N = \frac{1}{H} \left[L + \frac{Z}{2} \right] = \frac{1}{\frac{D}{2}} \left[2 \cdot D + \frac{2 \cdot D}{2} \right] = \frac{6 \cdot D}{D} = 6$$

La eficacia de un equipo de depuración, η , es un índice de su poder captador. Este valor debe ir siempre acompañado del rango del tamaño de partícula al que corresponde, puesto que por ejemplo una eficacia del 99% no significa que el equipo tenga un excelente rendimiento en cualquier circunstancia, ya que ese dato puede ser solo válido para partículas de tamaño muy grande.

La eficacia es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\pi \cdot N \cdot \rho_p \cdot d_p^2 \cdot v}{9 \cdot \mu \cdot B}$$

donde:

- ρ_p es la densidad de la partícula, Kg/m³
- d_p es el diámetro de la partícula, m
- μ es la viscosidad del gas, Kg/m*s

$$\eta = \frac{\pi \cdot 6 \cdot 830 \cdot d_p^2 \cdot 22,25}{9 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2545}$$

Con la ecuación anterior se puede calcular la eficacia del ciclón para un tamaño determinado de partícula o el tamaño de partícula que es capaz de captar el ciclón para una determinada eficacia.

La EPA estima que la eficiencia de control de un ciclón convencional es de 70 a 90% para materia particulada de diámetro mayor a 10 μm , de 30 a 90% para materia particulada de diámetro menor o igual a 10 μm y de 0 a 40% para partículas de diámetro menor o igual a 5 μm .

El tamaño de partícula que es capaz de recolectar el ciclón con una eficacia del 80% ($\eta=0,8$) es de:

$$0,8 = \frac{\pi \cdot 6 \cdot 830 \cdot d_p^2 \cdot 22,25}{9 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2545} \Rightarrow d_p = 9,76 \mu\text{m}$$

Esto significa que la partícula más pequeña que puede recolectar este ciclón con una eficacia del 80% es de 9,76 μm de diámetro.

- **Perdida de carga del ciclón**

La pérdida de energía mecánica o pérdida de carga en un ciclón es otro factor importante a considerar además de la eficacia. Generalmente se alcanzan mayores eficacias incrementando la velocidad del gas a través del ciclón. Sin embargo ello se consigue a costa de una mayor pérdida de carga; a muy altas velocidades, la turbulencia en el interior del ciclón favorece la reintegración del sólido particulado y la eficacia disminuye. De aquí que exista una velocidad óptima que suele estar entorno a los 20 m/s.

La bibliografía especializada presenta una gran cantidad de modelos empíricos para el cálculo de la pérdida de carga, entre los que está el de Sherperd y Lapple, muy simple de aplicar y tan preciso como otros mucho más complejos. La ecuación correspondiente a este modelo es:

$$H_v = \frac{K \cdot H \cdot B}{D^2}$$

donde:

- H_v ; es el número de carga expresada en número de cargas de velocidad

- K ; es un factor que para ciclones convencionales de entrada tangencial se encuentra en el rango de 12 a 18, recomendándose un valor igual a 16.

$$H_v = \frac{16 \cdot 0,509 \cdot 0,2545}{1,018^2} = 2$$

La pérdidas de carga es:

$$E = \frac{1}{2} \cdot v^2 \cdot \rho_g \cdot H_v = 0,5 \cdot 22,25^2 \cdot 1,2 \cdot 2 = 594,075 (J / m^3)$$

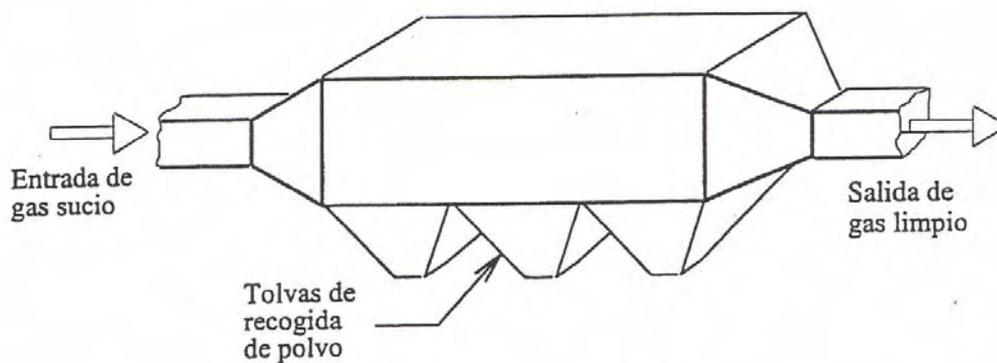
o bien,

$$E_{Kw} = Q \cdot E \cdot 10^{-3} = 2,88 \cdot 594,075 \cdot 10^{-3} = 1,71 (Kw)$$

4.1.2 CÁMARA DE GRAVEDAD

Una cámara de gravedad consiste básicamente en una cámara de expansión donde se reduce la velocidad del gas y de las partículas, de modo que las partículas que están en suspensión, principalmente las de mayor tamaño, permanecen el tiempo suficiente para caer por acción de la gravedad y depositarse en una tolva.

Los recolectores por gravedad (cámaras de sedimentación) se construyen generalmente en forma de cámaras rectangulares horizontales, huecas y de gran longitud con reducciones de entrada y salida a efectos de conexión con los conductos de salida y entrada del gas. En el fondo se montan las tolvas de recogida del sólido separado. En algunas cámaras se instalan una serie de bandejas horizontales con el objeto de reducir la distancia que deben recorrer las partículas en sedimentación.



cámara de sedimentación

Existen dos tipos principales de cámaras de sedimentación: la cámara de expansión y la cámara de placas múltiples.

En la cámara de expansión, la velocidad de la corriente de gas es reducida significativamente a medida que el gas se expande hacia el interior de una gran cámara. La reducción en la velocidad permite que las partículas grandes se asienten separándose de la corriente de gas.

Una cámara de sedimentación con placas múltiples, es una cámara de expansión, con un número de placas delgadas colocadas a corta distancia entre sí dentro de la

cámara, que causan que el gas fluya horizontalmente en medio de ellas. Aunque la velocidad del gas es incrementada ligeramente en una cámara con placas múltiples, la eficiencia de recolección generalmente mejora debido a que las partículas tienen que recorrer una distancia menor de caída antes de ser recolectadas. Las cámaras con este tipo de configuración son conocidas como cámara de polvo de Howard. La desventaja de este tipo de cámaras es la dificultad para su limpieza debido al poco espacio que existe entre las placas y en el caso de trabajar con altas temperaturas, las deformaciones provocadas por estas.

Las cámaras de sedimentación son equipos que han sido muy utilizados en la industria, a pesar de su baja eficacia, aunque su uso ha disminuido debido a mayores restricciones de espacio y por la posibilidad de utilizar otros dispositivos de control más eficientes y con mayores capacidades de carga.

Para realizar un análisis del comportamiento de una cámara como separador de partículas se exige realizar previamente una serie de suposiciones como son:

- ✓ El gas circula en flujo de pistón
- ✓ La distribución de partículas, en concentración y tamaños, es uniforme en la sección de entrada.
- ✓ La partícula se mueve horizontalmente a la misma velocidad del gas y sedimenta desde el instante inicial a la velocidad terminal, correspondiente al régimen de Stokes.
- ✓ Toda partícula que alcance el fondo, queda retenida. Toda partícula que alcance la sección de salida, sale con el gas.
- ✓ La velocidad del gas es lo suficientemente baja para evitar la reintegración del sólido retenido a la corriente gaseosa.

• Dimensiones

Los criterios más sencillos para dimensionar una cámara de gravedad se basan en especificar el diámetro de partícula que es captado con un 50% de eficacia (diámetro de corte) ó el diámetro de partícula que es captada en su totalidad.

Se puede hallar la superficie mínima de captación necesaria (superficie horizontal de la cámara) para partículas de 50 μm que sean captadas con un 50% de eficacia mediante la expresión:

$$B \cdot L = \frac{9 \cdot \mu \cdot Q}{(\rho_p - \rho_g) \cdot g \cdot D^2}$$

$$B \cdot L = \frac{9 \cdot 1,81 \cdot 10^{-5} \cdot 2,88}{(830 - 1,2) \cdot 9,8 \cdot 0,00005^2} = 23,10 \text{m}^2$$

La velocidad del gas en la cámara no debe sobrepasar los 3 m/s, ya que ello ocasionaría una elevada turbulencia y la reincorporación de las partículas ya depositadas a la corriente de gas. Esto permite calcular la sección transversal mínima de la cámara.

$$B \cdot H = \frac{Q}{3}$$

$$B \cdot H = \frac{2,88}{3} = 0,96 \text{m}^2$$

Teniendo en cuenta que la altura mínima de la cámara efectos de facilidad de limpieza, ha de ser del orden de 0,5 a 0,9 m, se obtiene:

$$H = 0,5 \text{m}$$

$$B = \frac{0,96}{0,5} = 1,92 \text{m}$$

$$L = \frac{23,1}{1,92} = 12,03 \text{m}$$

- **Eficacia**

El tiempo que tarda en alcanzar la superficie colectora (el fondo) una partícula de tamaño D es:

$$t_s = \frac{H}{V_T}$$

donde:

- H es la altura de la cámara, m
- V_T es la velocidad terminal de la partícula, m/s

Por otro lado, el tiempo de residencia en la cámara es:

$$t_R = \frac{L}{V_H} = \frac{L \cdot B \cdot H}{Q}$$

donde:

- L es la longitud de la cámara, m
- B es el ancho de la cámara, m
- V_H es la velocidad horizontal de desplazamiento del gas en el interior de la cámara, m/s
- Q es el caudal de gas, m³/s

Para que una partícula sea captada debe cumplirse que el tiempo de sedimentación de la partícula (el tiempo que tarda en alcanzar el fondo) debe ser menor o igual al tiempo de residencia del gas en la cámara. Por lo tanto, igualando las ecuaciones anteriores se obtiene la mínima velocidad terminal que debe tener la partícula para que pueda ser captada.

$$V_{MIN} = \frac{Q}{L \cdot B}$$

En régimen de Stokes la velocidad terminal viene dada por la ecuación:

$$V_{MIN} = \frac{D^2 \cdot (\rho_P - \rho_G) \cdot g}{18 \cdot \mu}$$

donde:

- D es el diámetro de partícula, m
- ρ_P es la densidad de la partícula, Kg/m³
- ρ_G es la densidad del gas, Kg/m³
- g es la gravedad, m/s²
- μ es la viscosidad, Kg/m*s

Si ahora se sustituye la V_{MIN} obtenida anteriormente en la ecuación de Stokes y se despeja el D, entonces se obtiene la expresión que da el tamaño mínimo de partículas que son separadas en su totalidad.

$$D_{MIN} = \sqrt{\frac{Q \cdot 18 \cdot \mu}{(\rho_P - \rho_G) \cdot g \cdot L \cdot B}}$$

Ahora se puede considerar una partícula de tamaño D_i inferior a D_{MIN} , con una velocidad terminal V_{ti} y que en el tiempo de residencia del gas solo sedimenta una distancia H_i menor que H. Puesto que las partículas se distribuyen uniformemente a la entrada de la cámara, la eficacia de captación de esta partícula será:

$$D_i = \frac{H_i}{H} = \frac{V_{ti} \cdot V_R}{H} = \frac{V_{ti} \cdot L \cdot B \cdot H}{H \cdot Q} = \frac{V_{ti} \cdot L \cdot B}{Q}$$

La eficacia en función del diámetro (eficacia fraccional) se obtiene sustituyendo la V_{ti} de la partícula por la velocidad terminal dada por la ecuación de Stokes.

$$D_i = \frac{D^2 \cdot (\rho_P - \rho_G) \cdot g \cdot L \cdot B}{18 \cdot \mu \cdot Q}$$

A partir de esta ecuación es fácil expresar el diámetro de partícula que es captado con un 50% de eficacia (diámetro de corte)

$$D(\eta = 50) = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot Q}{(\rho_p - \rho_G) \cdot g \cdot B \cdot L}}$$

Por lo tanto, con los datos obtenidos anteriormente, una cámara con una altura de 0,5 m y una superficie de 23,01 m² es capaz de separar partículas de 50 μm de diámetro con una eficacia del 50%.

4.1.3 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE CAPTACIÓN MECÁNICA

Las *cámaras de gravedad* son equipos de desempolvado de gases en los que, las partículas sólidas arrastradas por una corriente de gas son separadas por acción de la gravedad y depositadas en el fondo del equipo.

Un *ciclón* es un equipo utilizado también en el desempolvado de gases. La gran diferencia es que aquí son fuerzas centrífugas las que impulsan a las partículas hacia la superficie colectora, eliminándolas de la corriente gaseosa.

Ambos equipos tienen una serie de ventajas en común como son:

- la inversión inicial de capital es baja
- carecen de partes móviles, con lo que los requerimientos de mantenimiento y los costos de operación son bajos
- la caída de presión es relativamente baja
- las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción
- la recolección y disposición de polvo tiene lugar en seco

Pero también tienen una serie de ventajas cada uno de ellos. Las cámaras de gravedad tienen un excelente funcionamiento, no están sujetas a la abrasión debido a la baja velocidad del gas y proporciona un enfriamiento incidental en la corriente de gas. Sin embargo, los ciclones tienen una gran ventaja, los requisitos espaciales son relativamente pequeños. En contra, esto es un gran inconveniente en las cámaras de gravedad puesto que estas tienen un gran tamaño físico. Ambos tienen el inconveniente de no poder manejar materiales pegajosos o aglomerantes.

Respecto a la eficacia, en los apartados anteriores se calculó que el ciclón es capaz de recolectar partículas de $9,76 \mu\text{m}$ de diámetro con una eficacia del 80%. Sin embargo, la cámara de gravedad solo es capaz de capturar partículas de $50 \mu\text{m}$ de diámetro con un 50% de eficacia.

- **Conclusión**

A la hora de tomar una decisión sobre la selección del equipo de captación mecánica el factor que más se ha tenido en cuenta es la eficacia de captación de las partículas por lo que se ha elegido el separador ciclónico como equipo de captación, además de por sus pequeños requerimientos de espacio.

4.2 FILTRO TEJIDO

La filtración a través de tejidos, papel o fieltro es, probablemente, el más antiguo, simple y eficaz procedimiento de separación de polvo de una corriente de gas. A escala industrial se utiliza cuando las partículas a eliminar son de pequeño tamaño, se requiere una gran eficacia y es deseable recoger el polvo seco.

La característica de operación principal de los filtros de tela que los distingue de otros filtros de gases es la capacidad de renovar la superficie de filtración periódicamente por medio de limpiezas.

Una unidad de filtro tela consiste en uno o más compartimientos aislados conteniendo hileras de bolsas de tela, en forma de tubos redondos, planos o de cartuchos plisados. Los filtros de telas se construyen por lo general con felpas tejidas o, más comúnmente, perforadas con agujas y cosidas con la forma deseada, montadas en un pleno con herramientas especiales, y usados a través de un amplio rango de concentraciones de polvo.

La operación consiste básicamente en forzar el paso de la corriente de gas a través del medio filtrante (filtro). El tejido produce un cierto efecto filtrante, aunque su principal misión consiste en servir de soporte para la capa de polvo (torta o plasta) que rápidamente se acumula sobre él. La plasta es una barrera con poros tortuosos que atrapan a las partículas a medida que viajan por la ella. Esta capa de polvo es la responsable de la alta eficacia de los filtros de tejido. El efecto filtrante de la torta depositada es mucho más importante para filtros de tela que para filtros de fieltro, donde otros mecanismos de captación, como la intercepción directa, el impacto inercial y la difusión, tienen lugar en el interior del propio medio filtrante.

A medida que el filtro se carga de partículas, bien interior o exteriormente, la pérdida de carga a través del gas va aumentando. Llegará por tanto un momento en el que hay que parar y proceder a la limpieza del filtro con el objeto de proceder de nuevo con el ciclo de filtración. Como se dijo anteriormente, un filtro se compone de varios compartimientos, conteniendo cada uno de ellos una serie de mangas, así mientras las mangas de uno de ellos están en fase de limpieza o mantenimiento las demás pueden estar en servicio.

- **Clasificación de filtros**

Los filtros de tela pueden ser clasificados por varios medios, incluyendo:

- el tipo de limpieza (por agitación, aire a la inversa, propulsión a chorro)
- la dirección del flujo de gas (desde el interior de la bolsa al exterior o viceversa)
- la localización del ventilador del sistema (de succión o de presión)
- tamaño (cantidad baja, mediana o alta de flujo de gas)

De estos cuatro enfoques, el método de limpieza es probablemente la característica más distintiva.

- **Sistemas de limpieza**

Cuando la superficie filtrante ha acumulado una cantidad de polvo preestablecida, es sometida a un proceso de limpieza mediante el cual la costra de polvo se despega de la superficie y cae por gravedad hacia las tolvas de recogida. Como la operación ha de ser normalmente continua, es preciso dividir el filtro en una serie de celdas en paralelo de manera que, con un juego de válvulas adecuado, una pueda ponerse fuera de servicio para limpieza mientras que las demás continúan en operación. Generalmente, es un sistema de tiempo o de presión diferencial el que, automáticamente activa el sistema de limpieza.

Los filtros con limpieza por agitación o por aire a la inversa han sido ampliamente empleados durante muchos años y están siempre divididos en varios compartimentos, uno de los cuales es aislado en el proceso de limpieza mientras que los demás continúan en operación. En comparación con las bolsas limpiadas por aire a la inversa la acción vigorosa de los sistemas de agitación tienden a presionar mas a las bolsas, por lo que requiere telas más pesadas y durables. La limpieza por aire a la inversa fue desarrollada como una manera menos intensiva de impartir energía a las bolsas.

Los filtros con limpieza por propulsión a chorro son equipos mucho más recientes (desarrollados en los últimos 20 años) que representan en la actualidad casi la mitad del mercado de la filtración de gases industriales. Operan mediante filtración externa y consiguen la limpieza de las mangas por efectos de pulsos de aire comprimido (a 6 o 7 atm) de muy corta duración (30-100 ms) que producen una onda de choque que

flexa las mangas y desprende el polvo depositado. Las ventajas de la limpieza por chorro pulsante comparada con la de agitación o con la de aire a la inversa es la reducción en el tamaño de las bolsas (y el costo de capital) permitida al usar menos tela debido a unas velocidades de filtración más altas y por no tener que construir un compartimiento adicional para la limpieza fuera de línea. No obstante también presenta una serie de inconvenientes que se derivan del hecho de que gran parte del polvo desprendido vuelve a ser arrastrado y de la limitación que el sistema de limpieza impone a la longitud de las mangas. En general, todos los filtros presentan desventajas potenciales asociadas al empleo de gases calientes y químicamente corrosivos, a elevadas pérdidas de carga operando con concentraciones elevadas de polvo, a un excesivo mantenimiento y a un alto coste en relación con otros equipos.

- **Naturaleza de los tejidos**

Los tejidos se fabrican de diversas fibras naturales o sintéticas. La elección de un tejido para una aplicación dada depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- temperatura del gas
- propiedades físicas y químicas del polvo
- composición química del gas
- contenido en humedad del gas

A su vez, el tipo de tejido elegido condiciona, en gran parte, el método de limpieza a utilizar. Así, por ejemplo, ciertos tejidos, como los de fibra de vidrio, se rompen rápidamente cuando se utiliza un sistema de limpieza por agitación, por lo que normalmente se usan con sistemas de limpieza de aire inverso, más suaves aunque también menos efectivos.

En la tabla 1 aparecen los tejidos más frecuentes junto con sus propiedades más significativas.

Teniendo en cuenta dicha tabla y las características de nuestro sistema, se ha elegido, como tejido para el filtro, el algodón ya que este es el más económico entre los que trabajan a bajas temperaturas y tiene una buena resistencia mecánica. Para este tipo de tejidos la resistencia a ácidos es mala pero este dato no es de gran importancia ya que nuestra sustancia es serrín.

El precio del filtro de algodón es de 1,90 euros por m².

4.2.1 SELECCION DEL FILTRO TEJIDO

- **Diseño preliminar**

Las características del sistema para el diseño del filtro son:

- Tipo de tejido: algodón
- Caudal de gases: 2,88 m³/s
- Sólido a depurar: serrín

1.Limpieza por propulsión a chorros

- Velocidad de filtración: según la tabla 2, la velocidad máxima de filtración para el serrín en filtros limpiados por filtros de aire a presión esta entre 2,1 y 2,5 m /min.
- Velocidad de diseño: Para nuestros cálculos se ha estimado un valor medio de 2,3 m /min, es decir, 0,038 m/s.
- Area de filtración: este área se calcula como el cociente entre el caudal de gases y la velocidad de filtración.

$$A = \frac{Q}{V_f} = \frac{2,88}{0,038} = 75,13m^2$$

2.Limpieza por aire inverso o por agitación

- Velocidad de filtración: menor a 0,7 m /min, es decir, 0,01 m/s.
- Area de filtración:

$$A_f = \frac{2,88}{0,01} = 288m^2$$

- Area total del filtro: el área total del filtro depende del número de compartimentos que este posea. Este valor de número de celdas se puede obtener de la tabla 3, en función del área de filtración. A un área de 288 m² le corresponden 2 compartimentos.

$$A_{total} = \frac{288 \cdot 2}{2} = 288$$

En este caso el área total del filtro corresponde con el área de filtración.

- **Estimación de costos:**

El precio del filtro depende básicamente del sistema de limpieza empleado y, fundamentalmente, de la superficie total de filtración. Así como de factores de encarecimiento, como la construcción en acero inoxidable, el aislamiento térmico o el funcionamiento en succión en lugar de a presión. Para la estimación del precio del filtro, P, se van a emplear las siguientes correlaciones empíricas obtenidas por Neveril, Price y Engdahl en 1978:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

donde:

- P₁: es el precio básico del filtro (sin incluir las mangas), supuesto construido en acero al carbono, sin aislamiento y situado en la impulsión del ventilador.
- P₂: es el sobre coste debido a la construcción en acero inoxidable.
- P₃: es el coste debido al aislamiento térmico.
- P₄: es el coste motivado por una construcción en succión del ventilador.

Cada uno de estos factores viene dado, en función del área de filtración neta (AFN), por una expresión del tipo:

$$P_i = a_i + b_i \cdot AFN$$

donde los valores de las constantes a_i y b_i vienen dados en la tabla 4. Los coeficientes a_i y b_i han sido convertidos a euros y m^2 para la realización de los cálculos.

Para convertir el importe de dólares a euros hay que utilizar la peseta como moneda puente, ya que si se aplica otro procedimiento se podrían producir diferencias derivadas de redondeos intermedios. El procedimiento a seguir será el siguiente:

- Traducir el importe de dólares a pesetas utilizando el tipo de conversión.

$$1\$ = 137,2935 \text{ pts}$$

- La cifra resultante en pesetas no se redondea, para evitar imprecisiones.
- Multiplicar la cifra en pesetas por el tipo de conversión, para calcular el importe final en euros.

$$1\text{€} = 166,386 \text{ pts}$$

El precio total de la unidad instalada, en promedio, representa un 217% del precio total.

1.Limpieza por propulsión a chorros:

- Coste unitario de las telas de algodón: 1,90 euros / m^2
- Coste telas:

$$1,90 \cdot 75,13 = 143 \text{ euros}$$

- Coste del equipo:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_1 = a_1 + b_1 \cdot ANF = 4431,06 + 67,50 \cdot 75,13 = 9502,34\text{€}$$

$$P_2 = a_2 + b_2 \cdot ANF = 1361,50 + 44,46 \cdot 75,13 = 4701,78\text{€}$$

$$P_3 = a_3 + b_3 \cdot ANF = 4051,50 + 21,31 \cdot 75,13 = 5652,52\text{€}$$

$$P_4 = a_4 + b_4 \cdot ANF = 0 + 0 \cdot 75,13 = 0\text{€}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 9502,34 + 4701,78 + 5652,52 + 0 = 19856,64\text{€}$$

- Coste total del equipo más las telas:

$$\text{Coste}_{total} = 143 + 19856,64 = 19999,64 \approx 20000\text{€}$$

- Coste instalado:

$$2,17 \cdot \frac{20000}{0,82} = 52926,83\text{€}$$

- Coste compresor de aire: 18000€
- Coste final:

$$52926,83 + 18000 = 70926,83\text{€}$$

2.Limpieza por agitación

- Coste unitario de las telas de algodón: 1,90 euros /m²
- Coste telas:

$$1,90 \cdot 288 = 547,2\text{euros}$$

- Coste del equipo:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_1 = a_1 + b_1 \cdot ANF = 5495,50 + 31,11 \cdot 288 = 14455,18\text{€}$$

$$P_2 = a_2 + b_2 \cdot ANF = 6056,60 + 16,40 \cdot 288 = 10779,8\text{€}$$

$$P_3 = a_3 + b_3 \cdot ANF = 1881,34 + 15,72 \cdot 288 = 6408,7\text{€}$$

$$P_4 = a_4 + b_4 \cdot ANF = 1864,84 + 2,26 \cdot 288 = 2515,72\text{€}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 14455,18 + 10779,80 + 6408,70 + 2515,72 = 34159,40\text{€}$$

- Coste total del equipo más las telas:

$$\text{Coste}_{total} = 547,20 + 34159,40 = 34706,60\text{€}$$

- Coste instalado:

$$2,17 \cdot \frac{34706,60}{0,82} = 91845,51\text{€}$$

3.Limpieza por aire a la inverso

- Coste unitario de las telas de algodón: 1,90 euros /m²
- Coste telas:

$$1,90 \cdot 288 = 547,2\text{euros}$$

- Coste del equipo:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_1 = a_1 + b_1 \cdot ANF = 21189,87 + 26,70 \cdot 288 = 28879,47\text{€}$$

$$P_2 = a_2 + b_2 \cdot ANF = 9588,25 + 19,27 \cdot 288 = 15138,01\text{€}$$

$$P_3 = a_3 + b_3 \cdot ANF = 9241,7 + 17,87 \cdot 288 = 14388,26\text{€}$$

$$P_4 = a_4 + b_4 \cdot ANF = 1394,5 + 3,44 \cdot 288 = 2385,22\text{€}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 28879,47 + 15138,01 + 14388,26 + 2385,22 = 60790,96\text{€}$$

- Coste total del equipo más las telas:

$$Coste_{total} = 547,20 + 60790,96 = 61338,16\text{€}$$

- Coste instalado:

$$2,17 \cdot \frac{61338,16}{0,82} = 162321,71\text{€}$$

De entre los distintos equipos de filtración se ha seleccionado el filtro con limpieza por propulsión a chorros con tejido de algodón, por ser el más económico de todos ellos.

$$\text{Precio total del filtro} = 70926,83 \text{ €}$$

4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

A continuación se presenta el proceso de selección económico, entre el equipo de captación mecánica (ciclón) y el filtro tejido (por chorro pulsante) para la operación de depuración de las partículas sólidas contenidas en el aire, de un aserradero.

En el apartado anterior de entre los filtros tejido se seleccionó el de limpieza por chorro pulsante, con un costo de 70926,83 €

El cálculo del coste en un ciclón convencional, con una eficacia del 80% y una velocidad de flujo volumétrico de la corriente contaminada a tratar entre 0,5 y 12 m³ /s se puede obtener mediante la siguiente formula:

$$\text{Coste}_{\text{CICLÓN}} = 2 \cdot 10^6 \cdot D_c^{0,3} \text{ pts}$$

$$\text{Coste}_{\text{CICLÓN}} = 2 \cdot 10^6 \cdot 1,018^{0,3} = 2010732,646 \text{ pts}$$

La cantidad obtenida en pesetas, se convierte a euros, obteniéndose:

$$\text{Coste del ciclón} = 12084,75 \text{ euros}$$

Otro método para determinar el costo de capital de un ciclón es utilizando una hoja de cálculo de la EPA para la estimación de costos, en base a la velocidad de flujo volumétrico de la corriente contaminada a tratar. Según los cálculos realizados por la EPA, con el fin de calcular la eficiencia de costes, para un ciclón con un flujo entre 0,5 y 12 m³/s, una carga de materia particulada a la entrada entre 2,3 y 230 g/m³, y una eficiencia de control del 80 %, el coste de capital esta entre 4200 y 5100\$ por m³/s. Para adaptar estos datos al coste de nuestro ciclón, se ha tomado el valor medio, resultando este de 4650\$. El caudal del ciclón es de 2,88 m³/s por lo tanto el coste de capital será:

$$2,88 \cdot 4650 = 13392\$$$

este valor convertido a euros es de 11050,41 €

Como se puede observar el coste de capital de un ciclón es mucho menor que el de un filtro tela, por lo que se toma el ciclón como el equipo de captación para el sistema de depuración.

CARACTERÍSTICAS DE TEJIDOS PARA FILTROS DE MANGAS

Tejido	Máxima Temperatura (°C) Sostenida	Puntual	Resistencia a ácidos	Resistencia a álcalis	Resistencia a flexión	Costo Relativo
Algodón	80	110	M	B	B	1
Lana	95	120	MB	M	R	2,75
Nylon	95	120	R	MB	MB	2,5
Dynel	70	115	B a MB	MB	B	3,2
Polipropileno	95	120	MB	MB	MB	1,75
Orfón	125	135	B a MB	R	R	2,75
Dacrón	135	160	B	B	MB	2,8
Nomex	205	260	R	MB	MB	8
Teflón	205	260	MB	MB	R	30
Fibra de vidrio	290	315	R a B	R	M	5,5
Polietileno	95	-	MB	MB	B	2

NOTA: M = mala; R = regular; B = buena; MB = muy buena.

Tabla 1. Características de Tejidos para Filtros Tela

Tabla 2. Velocidades de filtración en filtros limpiados por propulsión a chorro

**VELOCIDADES MAXIMAS DE FILTRACION EN FILTROS LIMPIADOS
POR PULSOS DE AIRE A PRESION**

Polvo	Velocidad de filtración (m/min)
Carbono, Grafito, Polvos metalúrgicos, Jabón, Detergentes, Oxido de Zinc	1,5-1,8
Crudo de Cemento, Arcilla, Plásticos, Pigmentos, Almidón, Azúcar, Serrín, Zinc (metálico)	2,1-2,5
Oxido de aluminio, Cemento, Arcilla vitrificada, Cal, Caliza, Yeso, Mica, Cuarzo, Haba de Soja, Talco	2,8-3,3
Cacao, Chocolate, Harina, Granos, Polvo de Pielés, Arena, Tabaco	3,6-4,2

NOTA: Reducir las velocidades indicadas en 0,3 m/min si la carga de polvo es muy alta o si las partículas son muy pequeñas.

Tabla 3. Número de compartimentos en función del área de filtración neta

NUMERO DE COMPARTIMENTOS EN FUNCION DEL AREA DE FILTRACION NETA	
Area de filtración neta (m ²)	Número de celdas
<350	2
350 - 1100	3
1100 - 2300	4-5
2300 - 3700	6-7
3700 - 5500	8-10
5500 - 7500	11-13
7500 - 10000	14-16
10000 - 14000	17-20
>14000	>20

NOTA: $\text{Area de filtración neta} = Q_{\text{diseño}} / V_{\text{diseño}}$
(un compartimento adicional en fase de limpieza)

Tabla 4. Constante de los factores de coste de Filtros de Mangas

<u>Constante</u>	<u>Constantes de los factores de coste de filtros de mangas</u>		
	<u>Sacudidas</u>	<u>Tipo de filtro</u> <u>Aire inverso</u>	<u>Pulsos</u>
a1 (US\$)	6.660	25.680	5.370
b1 (US\$/ft ²)	3,50	3,00	7,60
a2 (US\$)	7.340	11.620	1.650
b2 (US\$/ft ²)	1,90	1,79	5,00
a3 (US\$)	2.280	11.200	4.910
b3 (US\$/ft ²)	1,77	1,66	2,40
a4 (US\$)	2.260	1.690	0
b4 (US\$/ft ²)	0,25	0,32	0

5. DEPOSITO DE ALMACENAMIENTO

El material del tanque de almacenamiento será acero al carbono AISI 1030. Para el diseño del tanque se ha utilizado el código ASME, sección VII, para cálculo de recipientes a presión. Los parámetros utilizados y dimensiones obtenidas en el cálculo del tanque:

- Diámetro interior. D: 3200 mm
- Altura. H : 3000 mm
- Tanque vertical, cilíndrico.
- Fondo toriesférico tipo “Klopper”.
- Temperatura de operación: temperatura ambiente.
- Temperatura de diseño. T: 25 °C (77°F)
- Presión externa de diseño: 15 psi
- Presión de operación: presión atmosférica
- Presión de diseño. P : 3,5 Kg/cm²
- Volumen útil, V: 24,1 m³
- Densidad de las partículas, ρ : 830 Kg/m³
- Material : acero al carbono tipo AISI 1030. Composición: 0,28-0,34% C, 0,06-0,09% Mn, 0,04% Pmáximo y 0,05% Smáximo
- Tensión admisible de diseño. σ : 970,5 Kg/cm²
- Carga de rotura: 3867,8 Kg/cm²
- Límite elástico: 2109,7 Kg/cm²
- Sobreespesor para la corrosión. C: 3 mm (para aceros al carbono).
- Eficacia de la soldadura: 0,55.

5.1 DIMENSIONES DEL TANQUE

El volumen del tanque es el necesario para almacenar las partículas sólidas separadas de la corriente de gas, procedentes del ciclón.

Para calcular la altura y el diámetro, se aplica la condición de superficie mínima. Así se conseguirá el volumen deseado utilizando la mínima cantidad de material posible. Con esto se consigue un ahorro en los costes de material.

- Volumen del cilindro (V)

$$V = 24\text{m}^3 = \pi \cdot R^2 \cdot H \Rightarrow H = \frac{24}{\pi \cdot R^2}$$

$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot H + 2 \cdot \pi \cdot R^2 \Rightarrow$ Para que la superficie sea mínima, la derivada de S respecto de H debe ser igual a cero

Sustituyendo el valor de H despejado del Volumen en S, se obtiene :

$$S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{24}{\pi \cdot R^2} + 2 \cdot \pi \cdot R^2 = \frac{48}{R} + 2 \cdot \pi \cdot R^2$$

Derivando S respecto de R, se obtiene :

$$S' = \frac{-48}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R$$

A continuación se iguala la derivada de S a cero para que se cumpla la condición de mínimo :

$$S' = \frac{-48}{R^2} + 4 \cdot \pi \cdot R = 0 \Rightarrow \frac{48}{R^2} = 4 \cdot \pi \cdot R \Rightarrow \frac{48}{4 \cdot \pi} = R^3 \Rightarrow R = \sqrt[3]{\frac{48}{4 \cdot \pi}} = 1,56 \text{ m}$$

- Si se aproxima hasta un radio de 1,6 metros, la altura vendrá dada, sustituyendo el radio en la fórmula del volumen:

$$V = 24\text{m}^3 = \pi \cdot R^2 \cdot H \Rightarrow H = \frac{24}{\pi \cdot R^2} = \frac{24}{\pi \cdot 1,6^2} = 2,98 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

- Finalmente calculamos el volumen útil real:

$$V_{\text{CILINDRO}} = \pi \cdot R^2 \cdot H = \pi \cdot 1,6^2 \cdot 3 = 24,1\text{m}^3$$

No hay que olvidar calcular la cantidad de partículas que pueden quedar en el fondo toriesférico para obtener la capacidad total del tanque. El volumen del fondo viene dado por la ecuación:

$$V_{\text{FONDO}} = 0,1 \cdot D^3 = 3,3m^3$$

$$V_{\text{FINAL}} = V_{\text{CILINDRO}} + V_{\text{FONDO}} = 24,1 + 3,3 = 27,4 \text{ m}^3 \text{ aproximadamente.}$$

Las dimensiones de radio y altura calculadas nos dan un volumen algo mayor al requerido. En concreto se buscaba un volumen de 24 m^3 y se ha obtenido uno de $27,4\text{m}^3$; pero hay que tener en cuenta que el tanque no se llena hasta arriba, sino que se debe mantener una altura de seguridad, para evitar desbordamientos.

Aplicando esta condición de superficie mínima, el gasto en material para la construcción del tanque será el menor posible.

5.2 CALCULO DEL ESPESOR DE LA ENVOLVENTE

- Por especificación

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + C = \frac{3200}{1000} + 2,54 + 3 = 8,74\text{mm}$$

- Por tensión circunferencial, en función del diámetro interior

$$t = \frac{P \cdot (D + 2 \cdot C)}{2 \cdot S \cdot E - 1,2 \cdot P} + C = \frac{3,5 \cdot (3200 + 2 \cdot 1,5)}{2 \cdot 970,5 \cdot 0,55 - 1,2 \cdot 3,5} + 3 = 13,55\text{mm}$$

Entre los dos espesores obtenidos, se toma el mayor de ellos, aunque se busca el más próximo a él que se encuentre normalizado: 15 mm. A continuación, habrá que comprobar que este espesor sea válido para soportar la presión. Para ello se necesitan los siguientes valores A y B.

$$A = \frac{0,125}{R_0 / t} = \frac{0,125}{1615/15} = 1,16 \cdot 10^{-3}$$

donde R_0 es el radio exterior .

Con el valor de A, el material del tanque (AISI 1030) y la temperatura de diseño, se obtiene mediante gráficas el valor B. $B = 15000$.

Cuando D_0 / t sea igual o mayor a 10, como este caso, la presión máxima de trabajo permitida (P_a) es la siguiente:

$$D_0 / t = 3230 / 15 = 215,33$$

$$P_a = \frac{4 \cdot B}{3 \cdot \left(\frac{D_0}{t} \right)} = \frac{4 \cdot 15000}{3 \cdot 215,33} = 92,88 \text{ psi}$$

Se tiene que cumplir que la presión máxima de trabajo permitida sea mayor que la presión externa de diseño (15 psi), para aceptar como válido ese espesor. En este caso $P_a > P_{\text{externa}}$, $92,88 > 15$. Por lo tanto se acepta como válido el espesor de 15 mm para las virolas.

5.3 ESPESOR DEL FONDO

El fondo de estos tanques es toriesfércio tipo “Klopper”. La fórmula para el cálculo del espesor mínimo en este tipo de fondos es la siguiente:

$$t = \frac{D}{1000} + 2,54 + C = \frac{3200}{1000} + 2,54 + 3 = 8,74 \text{ mm}$$

El espesor normalizado más cercano al obtenido es el de 10 mm por tanto para el espesor del fondo se puede tomar 10 mm. Pero para tener todas las virolas del tanque del mismo espesor y para que exista mayor homogeneidad, se tomará un espesor de 15 mm al igual que para el resto del tanque.

Ahora habría que comprobar si el espesor escogido es el adecuado. Para ello, y al igual que antes, se necesitan los valores A y B. Como el espesor escogido es igual al

de las virolas y ya se había comprobado anteriormente que era correcto, la comprobación sería igual que la de antes. Se acepta pues este espesor.

5.4 TENSIONES LONGITUDINALES EN LA ENVOLVENTE DEBIDAS A LA PRESION INTERIOR

$$\sigma_{Pa} = \frac{P \cdot (D + 2 \cdot C)}{4(t - C)} = \frac{3,5 \cdot (3200 + 2 \cdot 3)}{4 \cdot (15 - 3)} = 233,77 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

5.5 PESOS Y TENSIONES DEBIDOS A PESOS EN ELEVACION

- Montaje y Parada

-Peso de la envolvente es:

$$W = 6,165 \cdot 10^{-6} \cdot (D_0^2 - D^2) \cdot H = 6,165 \cdot 10^{-6} \cdot (3230^2 - 3200^2) \cdot 3000 = 3567.68 \text{ Kg}$$

-Tensión debida al peso es:

$$\sigma = \frac{4 \cdot W_j \cdot 10^2}{\pi \cdot [D_0^2 - (D + 2 \cdot C)^2]} = \frac{4 \cdot 3567.68 \cdot 10^2}{\pi \cdot [3230^2 - (3200 + 2 \cdot 3)^2]} = 2.94 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

- Operación

-Peso de la envolvente es:

$$W = 6,165 \cdot 10^{-6} \cdot (D_0^2 - D^2) \cdot H = 6,165 \cdot 10^{-6} \cdot (3230^2 - 3200^2) \cdot 3000 = 3567.68 \text{ Kg}$$

-Peso de las partículas en el tanque:

$$\rho \cdot V = 830 \cdot 24,1 = 20003 \text{kg}$$

-Peso para fondo toriesférico tipo “Klopper”:

$$\text{Peso del fondo} = 87,5 \text{ kg/mm espesor} \cdot 15 \text{ mm} = 1312,5 \text{ kg}$$

-Suma de todos los pesos:

$$W_j = 3567,68 + 20003 + 1312,5 = 24883,18 \text{Kg}$$

-Tensión debida al peso en la elevación:

$$\sigma = \frac{4 \cdot W_j \cdot 10^2}{\pi \cdot [D_o^2 - (D + 2 \cdot C)^2]} = \frac{4 \cdot 24883,18 \cdot 10^2}{\pi \cdot [3230^2 - (3200 + 2 \cdot 3)^2]} = 20,51 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

5.6 TENSIONES DEBIDAS AL VIENTO

$$\text{Modulo resistente} = Z = \frac{\pi \cdot [D_o^4 - (D + 2C)^4]}{32 \cdot D_o} = \frac{\pi \cdot [825,3^4 - (820 + 2 \cdot 0,15)^4]}{32 \cdot 825,3} = 1325271,637 \text{cm}^3$$

$$P_e = \text{Presión efectiva del viento} = P_v \cdot 10^{-4} \cdot K = P_v \cdot 10^{-4} \cdot K = \\ = 0,01 \cdot 10^{-4} (0,8 \cdot 1 \cdot 1,2) = 9,6 \cdot 10^{-7} \text{ Kg/cm}^2$$

P_v : Presión dinámica del viento. $0,01 \text{ Kg/cm}^2$

K : Coeficiente = $C_1 \cdot C_2 \cdot C_3$

C_1 : Coeficiente eólico, 0,8

C_2 : Coeficiente de esbeltez, 1

C_3 : Coeficiente multiplicador, 1,2

$$\text{Momento flector} = \frac{1}{2} \cdot P_E \cdot D_o \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,6 \cdot 10^{-7} \cdot 323 \cdot 300^2 = 13,95 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

$$\text{Tensión debida al viento: } \sigma = \frac{M_v}{Z} = \frac{13,95}{97237,27} = 1,435 \cdot 10^{-4} \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

5.6 FATIGAS ADMISIBLES

- A *tracción* = $S \cdot E = 970,5 \cdot 0,55 = 533,77 \text{ Kg/cm}^2$
- A *compresión*: Se toma el menor valor entre los dos siguientes, la fatiga admisible a tracción o el factor B calculado anteriormente:

$$S \cdot E = 533,77 \text{ Kg/cm}^2$$

$$B = 15000 \text{ lb/in}^2 = 1054,85 \text{ Kg/cm}^2$$

Se toma pues $533,77 \text{ Kg/cm}^2$.

- A *pandeo*: Se toma el menor valor entre los dos siguientes:

$$1/3 \cdot \text{límite elástico} = 1/3 \cdot 2109,7 = 703,23 \text{ Kg/cm}^2$$

$$1,05 \cdot 10^5 (t-C) / R_0 = 1,05 \cdot 10^5 (15-3) / 1615 = 780,18 \text{ Kg/cm}^2$$

Se toma el valor de $703,23 \text{ Kg/cm}^2$

- A *prueba*: Se toma el menor valor entre los dos siguientes

$$0,9 \cdot \text{límite elástico} = 0,9 \cdot 2109,7 = 1898,73 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0,495 \cdot \text{carga rotura} = 0,495 \cdot 3867,8 = 1914,56 \text{ Kg/cm}^2$$

Se toma el valor de $1898,73 \text{ Kg/cm}^2$

5.8 CARGA DEBIDA A SEISMOS

- **Carga estática lateral (V):** Los recipientes se diseñarán considerando que el efecto del terremoto es una carga estática lateral, cuyo valor viene dado por la siguiente expresión:

$$V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W$$

donde:

Z: Factor sísmico. Es función de la zona sísmica donde esté localizado el recipiente. Esta zona sísmica se determina de acuerdo con la Norma sismorresistente PDS-1, siguiendo la siguiente tabla:

Zona sísmica	Z
1 ^a	0,1875
2 ^a	0,3750
3 ^a	0,7500

La zona sísmica en este caso es la 3^a, por lo tanto el valor de Z es de 0,7500.

I: Factor de ocupación. Es función del uso al que se destina el recipiente. Se toma $I = 1$.

K: Coeficiente de estructura. Es función de la resistencia inherente del tipo de estructura a las fuerzas dinámicas debidas a seísmo. Para recipientes se toma $K = 2$.

C: Factor de flexibilidad. Su valor viene dado por la siguiente expresión:

$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$, siendo T el periodo fundamental de la vibración (s). Su valor viene

dado entre los límites: $0,04 < C < 0,12$. para obtenerlo se utiliza la expresión de Freese, para recipientes uniformes, es decir, con diámetro, espesor, peso y temperatura constante a lo largo de la altura total del recipiente:

$$T = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{H}{D_o} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{W \cdot D_o}{H \cdot (t - C)}}, \text{ siendo W el peso del recipiente en Kg.}$$

$$T = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{1500}{1620} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{803,15 \cdot 1620}{1500 \cdot (10 - 3)}} = 1,9 \cdot 10^{-3}$$

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} = \frac{1}{15\sqrt{8,15 \cdot 10^{-3}}} = 0,74$$

S: Factor de suelo y cimentación. Se toma $S = 1,5$, pero con la limitación: $C \cdot S$ sea menor o igual a $0,14$. En este caso: $C \cdot S = 0,74 \cdot 1,5 = 1,11 > 0,14$, por lo que no se captan los valores de C y S obtenidos. Se toma que el factor $C \cdot S = 0,14$.

W: Peso del recipiente. = 3824,54 Kg.

Por lo tanto la carga estática lateral debida a seísmos será:

$$V = Z \cdot I \cdot K \cdot C \cdot S \cdot W = 0,75 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,14 \cdot 24883,18 = 5225,47 \text{ Kg}$$

• **Distribución de fuerzas laterales:** la fuerza lateral total V, se distribuirá a lo largo de la altura del recipiente de acuerdo con la expresión:

$$V = F_t + \sum_{x=1}^{x=n} F_x, \text{ siendo } F_t \text{ la fuerza concentrada aplicada en la coronación del}$$

recipiente. Se debe cumplir que: $0,07 \cdot TV < 0,25 V$. Para $T < 0,7$ s, que es nuestro caso, $F_t = 0$.

El resto de la fuerza lateral total V , será distribuido sobre la altura del recipiente incluyendo el nivel superior “n” de acuerdo con la expresión. Se considera la totalidad de la altura del tanque, por lo que la fuerza lateral será igual a la carga estática.

$$F_x = \frac{(V - F_t) \cdot W_x \cdot h_x}{\sum W_x \cdot h_x} = 5225,47 \text{ Kg}$$

siendo,

F_x : fuerza lateral actuando en el centro de gravedad del elemento considerado

h_x : Altura desde la base al centro de gravedad del elemento considerado

W_x : Peso propio en operación del elemento considerado.

- **Momentos flectores:** el momento flector existente en el nivel inferior de cada sección, se calculará mediante la expresión:

$$M_x = F_t \cdot (H - h_i) + \sum F_x \cdot (h_x - h_i) = 5225,47 \cdot 300 = 1567641 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$$

siendo,

H : Altura total del recipiente

h_i : Altura desde la base hasta el nivel inferior del elemento.

5.9 ESPESOR EN FUNCION DE LAS PRESIONES DE PRUEBA

- **Prueba inicial**

P_1 es la presión de prueba inicial (Kg/cm^2), obtenida de la siguiente ecuación, en la que P es la presión de diseño y S' y S son la tensión a temperatura de diseño y a la temperatura ambiente. En este caso son iguales, por lo que su cociente es igual a la unidad.

$$P_1 = 1,5 \cdot P \cdot \frac{S'}{S} = 1,5 \cdot 3,5 \cdot 1 = 5,25 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

Siendo la altura del fondo superior $H=0$

$$t_H = \frac{[P_1 + (L_x + H)_1 \cdot 10^{-4}] \cdot D_o}{(2 \cdot \sigma \cdot E) + [0,8 \cdot (P_1 + (L_x + H) \cdot 10^{-4})]} = \frac{[5,25 + 3000 \cdot 10^{-4}] \cdot 3230}{(2 \cdot 1898,73 \cdot 0,55) + [0,8 \cdot (5,25 + 3000 \cdot 10^{-4})]} = 8,6 \text{mm}$$

- **Prueba periódica**

P_p es la presión de prueba periódica (Kg/cm^2), obtenida de la siguiente ecuación, en la que P es la presión de diseño y S' y S son la tensión a temperatura de diseño y a la temperatura ambiente. En este caso son iguales, por lo que su cociente es igual a la unidad.

$$P_p = 1,3 \cdot P \cdot \frac{S'}{S} = 1,3 \cdot 3,5 \cdot 1 = 4,55 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

Siendo la flecha del fondo superior $H=0$

$$t_H = \frac{[P_p + (L_x + H)_1 \cdot 10^{-4}] \cdot D_o}{(2 \cdot \sigma \cdot E) + [0,8 \cdot (P_p + (L_x + H) \cdot 10^{-4})]} = \frac{[4,55 + 30000 \cdot 10^{-4}] \cdot 3230}{(2 \cdot 1898,73 \cdot 0,55) + [0,8 \cdot (4,55 + 3000 \cdot 10^{-4})]} = 7,5 \text{mm}$$

Confirmamos por tanto, el espesor de las virolas de 15 mm

5.10 ESPESOR DEL FONDO INFERIOR EN FUNCION DE LAS PRESIONES DE PRUEBA

- **Prueba inicial**

Para fondo inferior tipo Klopper y siendo:

- H = 0 la flecha fondo superior ya que tenemos un fondo superior plano

- H' = 0,2 · D₀ = 646

$$t_H = \frac{1,54 \cdot D_0 [P_1 + (L_x + H + H') \cdot 10^{-4}]}{(2 \cdot \sigma \cdot E) - [0,2 \cdot (P_1 + (L_x + H + H') \cdot 10^{-4})]} =$$

$$\frac{1,54 \cdot 323 [5,25 + (3000 + 646) \cdot 10^{-4}]}{(2 \cdot 189873 \cdot 0,55) - [0,2 \cdot (5,25 + (3000 + 646) \cdot 10^{-4})]} = 13,27 \text{ mm}$$

- **Prueba periódica**

Para fondo inferior tipo Klopper y siendo:

- H = 0 la flecha fondo superior ya que tenemos un fondo superior plano

- H' = 0,2 · D₀ = 324

$$t_H = \frac{1,54 \cdot D_0 [P_p + (L_x + H + H') \cdot 10^{-4}]}{(2 \cdot \sigma \cdot E) - [0,2 \cdot (P_p + (L_x + H + H') \cdot 10^{-4})]} + C =$$

$$\frac{1,54 \cdot 323 [4,55 + (3000 + 646) \cdot 10^{-4}]}{(2 \cdot 189873 \cdot 0,55) - [0,2 \cdot (4,55 + (3000 + 646) \cdot 10^{-4})]} + 3 = 14,7 \text{ mm}$$

Confirmamos por tanto, el espesor del fondo inferior de 15 mm

5.11 TENSIONES LONGITUDINALES DEBIDAS A LA PRESION DEPRUEBA

- **Prueba inicial**

$$\sigma = \frac{D \cdot [P_1 + H \cdot 10^{-4}]}{4 \cdot t} = \frac{3200 \cdot [5,25 + 3000 \cdot 10^{-4}]}{4 \cdot 15} = 296 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

- **Prueba periódica**

$$\sigma = \frac{D [P_{p1} + H \cdot 10^{-4}]}{4(t - C)} = \frac{3200 \cdot [4,55 + 3000 \cdot 10^{-4}]}{4 \cdot (15 - 3)} = 323 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

5.12 MOMENTOS FLECTORES DEBIDO AL EMPUJE DE TUBERIAS Y A CARGAS EXCENTRICAS

	Diámetro conexión (pulgadas)	Carga radial esfera cortante= 25Ø (Kg)	Distancia desde eje de tubuladura a línea base (cm)	Momento flector en línea base (Kg·cm)	Distancia desde eje de tubuladura a línea T. Inferior (cm)	Momento en línea tangente inferior (Kg·cm)	Distancia desde eje de tabuladura a elevación (cm)	Momento en elevación (Kg·cm)	Distancia al eje central (cm)	Momento de cargas excéntricas (Kg·cm)
Tubería de entrada	10	250	370	92500	300	75000	0	0	0	0
Tubería de salida	10	250	0	0	70	17500	370	92500	50	12500
Rebosadero de seguridad	5	125	332,5	41562,5	262,5	78287,5	107,5	13437,5	161,5	20187,5
rebosadero	5	125	107,5	13437,5	37,5	4687,5	332,5	41562,5	161,5	20187,5
total				147500		175475		147500		52875

Resulta el momento flector por empuje de tuberías:

$$M_{\text{empuje tuberías}} = 147500 + 175475 + 147500 = 470475 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

5.13 COMPROBACION DEL ESPESOR DE LAS VIROLAS BAJO ESFUERZOS COMBINADOS DE PRESIÓN INTERIOR Y DE ELEVACIÓN

Para calcular las fatigas combinadas a tracción, compresión y pandeo se necesita antes realizar una serie de cálculos que son los siguientes:

- **Momento total**

$$M = M_D + M_E + M_C = 214472,5 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$$

donde,

- \underline{M}_D : momento dominante. El mayor valor entre el momento debido al viento (M_V) o $M_S + 0,25 M_V$, siendo M_S el momento sísmico.

$$M_V = 13,95 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_S + 0,25 M_V = 154007 + 0,25 \cdot 13,95 = 154010 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$$

Se toma el valor $M_D = 154010 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$

- \underline{M}_C : momento cargas excéntricas = 52875 Kg·cm

- \underline{M}_E : momento empuje tuberías = 470475 Kg ·cm

- **Módulo resistente (Z)**

$$Z = \frac{\pi \cdot [D_o^4 - (D + 2C)^4]}{32 \cdot D_o} = \frac{\pi \cdot [323^4 - (320 + 2 \cdot 0,3)^4]}{32 \cdot 323} = 97237,27 \text{ cm}^3$$

- **Peso total (Q) = 24445,68 Kg**

- **Sección metal (A)**

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot [D_0^2 - (D + 2 \cdot C)^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [323^2 - (320 + 2 \cdot 0,3)^2] = 1213,16 \text{ cm}^2$$

- **Fatiga debida al peso**

$$\sigma_W = \frac{Q}{A} = \frac{24445,68}{1213,16} = 20,15 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

- **Fatiga debida flexión**

$$\sigma_F = \frac{M}{Z} = \frac{677357}{97237,27} = 6,97 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

- **Fatiga debida a presión**

$$\sigma_{Pa} = 233,77 \text{ Kg} / \text{cm}^2$$

- **Fatiga total combinada a tracción**

$$\sigma_T = \sigma_F + \sigma_{Pa} - \sigma_W = 6,97 + 233,7 - 20,15 = 220,51 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Se tiene que cumplir que la fatiga total combinada a tracción sea menor que la fatiga admisible a tracción calculada anteriormente, 533,77 Kg/cm².

- **Fatiga total combinada a compresión**

$$\sigma_T = \sigma_F - \sigma_{Pa} + \sigma_W = 6,97 - 233,77 + 20,15 = -206,65 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Se tiene que cumplir que la fatiga total combinada a compresión sea menor que la fatiga admisible a compresión calculada anteriormente, 533,77 Kg/cm².

- **Fatiga total combinada a pandeo**

$$\sigma_T = \sigma_F + \sigma_W = 6,97 + 20,15 = 27,116 \text{Kg} / \text{cm}^2$$

Se tiene que cumplir que la fatiga total combinada a pandeo sea menor que la fatiga admisible a pandeo calculada anteriormente, 703,23Kg/cm².

5.14 PATAS

Las patas que aguantan al tanque deberán ser capaces de soportar todo el peso del tanque. Para su elección, se sigue el Código ASME, sección VIII. Según el Código, para este tipo de tanque se elegirán 6 patas en forma de I con unas dimensiones de 280 x 119 (siendo estas medidas en mm).

5.15 BOCA DE INSPECCION

El depósito dispondrá de una boca de hombre para poder acceder a su interior en caso de limpieza o inspección. Esta boca de hombre se situará en la cabeza del tanque y tendrá un diámetro de 500 mm aproximadamente, siendo éste el mínimo según las “Especificaciones de Cepsa”. Se colocará de forma que se eviten riesgos personales que pudieran producirse al entrar o salir el personal.

5.16 VENTEO

Según normativa (APQ 001) todo tanque o depósito de almacenamiento tendrá alguna forma constructiva o dispositivo que permita aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior. En tanques verticales, la forma constructiva, puede ser techo flotante, techo móvil, unión débil del techo o cualquier otra solución establecida

en códigos de reconocida solvencia. En nuestro caso estará situado en la cabeza del tanque.

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

	Página
1. OBJETO	268
2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES DE LA OBRA	
2.1. Condiciones de índole facultativo	269
2.1.1. Cond. legales, códigos, normas, leyes y reglamentos de referencia	269
2.1.2. Dirección técnica. Atribuciones.....	273
2.1.3. Dirección facultativa. Atribuciones.....	274
2.1.4. Personalidad del constructor.....	275
2.1.5. Libro de órdenes.....	275
2.1.6. Ejecución de la obra.....	275
2.1.6.1. Inspección de la obra.....	275
2.1.6.2. Conservación de la obra.....	276
2.1.6.3. Señalización de la obra.....	276
2.1.6.4. Seguros.....	276
2.1.6.5. Incumplimientos de los plazos.....	277
2.1.6.6. Comunicación de los retrasos de la obra.....	277
2.1.7. Comprobación del replanteo.....	278
2.1.7.1. Acta de comprobación de replanteo.....	278
2.1.7.2. Gastos de comprobación del replanteo.....	279
2.1.7.3. Modificaciones acordadas.....	279
2.1.8. Acciones previas a la ejecución de la obra.....	279
2.1.8.1. Verificación y conformidad del proyecto.....	279
2.1.8.2. Acta de autorización de inicio de obra.....	279
2.1.8.3. Oficina para servicio de la dirección.....	280
2.1.8.4. Conservación de líneas de referencia.....	280
2.1.8.5. Presentación del programa de trabajo.....	280
2.1.8.6. Definición de obra por órdenes.....	281
2.1.8.7. Responsabilidad sobre la finalización de las obras.....	281
2.1.9. Equipo y maquinaria.....	281
2.1.9.1. Aportación de equipo y maquinaria.....	281

2.1.9.2. Insuficiencia de equipo.....	282
2.1.10. Ocupación de terrenos.....	282
2.1.10.1. Ocupación temporal de terrenos a favor del Contratista.....	282
2.1.10.2. Uso temporal de bienes de la Propiedad.....	282
2.1.10.3. Vigilancia de terrenos y bienes.....	283
2.1.11. Materiales.....	283
2.1.11.1. Procedencia de los materiales.....	283
2.1.11.2. Aprovechamiento de los materiales.....	283
2.1.11.3. Materiales procedentes de las excavaciones.....	284
2.1.11.4. Ensayos y análisis de los materiales y unidades de obra.....	284
2.1.11.5. Almacenes.....	284
2.1.11.6. Recepción y recusación de materiales.....	285
2.1.11.7. Retirada de materiales no empleados en la obra.....	285
2.1.12. Obras defectuosas o mal ejecutadas.....	285
2.1.13. Abono de la obra ejecutada.....	287
2.1.13.1. Medición y Valoración.....	287
2.1.13.2. Abono de las obras.....	288
2.1.14. Modificación del contrato.....	289
2.1.14.1. Modificación en la obra.....	289
2.1.14.2. Variaciones en los plazos de ejecución.....	290
2.1.14.3. Modificaciones no autorizadas.....	290
2.1.15. Suspensión de las obras.....	290
2.1.16. Resolución del contrato.....	291
2.1.16.1. Sanciones al Contratista por causas imputables al mismo...	291
2.1.16.2. Errores de proyecto.....	291
2.1.16.3. Incumplimientos por parte del Contratista.....	291
2.1.16.4. Causas de resolución del contrato.....	292
2.1.17. Conclusión del contrato.....	292
2.1.17.1. Recepción provisional de la obra.....	292
2.1.17.2. Medición general y liquidación Provisional.....	294
2.1.17.3. Recepción y liquidación definitivas.....	295

2.2. Condiciones de índole económico.....	295
2.2.1. Principio general.....	295
2.2.2. Fianza. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza y devolución de la misma.....	296
2.2.2.1. Fianza.....	296
2.2.2.2. Fianza provisional.....	296
2.2.2.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.....	297
2.2.2.4. De su devolución en general.....	297
2.2.2.5. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.....	297
2.2.3. De los precios.....	298
2.2.3.1. Composición de los precios unitarios.....	298
2.2.3.2. Precios de contrata e importe de contrata.....	299
2.2.3.3. Precios contradictorios.....	299
2.2.3.4. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas.	300
2.2.3.5. Formas tradicionales de medir o aplicar los precios.....	300
2.2.3.6. De la revisión de los precios contratados.....	300
2.2.3.7. Acopio de materiales.....	301
2.2.4. Obras por administración.....	301
2.2.4.1. Administración.....	301
2.2.4.2. Obras por Administración Directa.....	301
2.2.4.3. Obras por Administración delegada o indirecta.....	302
2.2.4.4. Liquidación de obras por Administración.....	302
2.2.4.5. Abono al Contratista de cuentas administración delegada .	303
2.2.4.6. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.....	304
2.2.4.7. Responsabilidad del Contratista en el bajo rendimiento de los obreros.....	304
2.2.4.8. Responsabilidades del Contratista.....	304
2.2.5. De la valoración y abono de los trabajos.....	305
2.2.5.1. Formas varias de abono de las obras.....	305
2.2.5.2. Relaciones valoradas y Certificaciones.....	306
2.2.5.3. Mejoras de obras libremente ejecutadas.....	307
2.2.5.4. Abono de los trabajos presupuestados con partida alzada...	307
2.2.5.5. Abono de agotamientos y trabajos esp. no contratados.....	308

2.2.5.6. Pagos.....	308
2.2.5.7. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.	309
2.2.6. Las indemnizaciones mutuas.....	309
2.2.6.1. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras.....	309
2.2.6.2. Demora de los pagos.....	309
2.2.7. Varios.....	310
2.2.7.1. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios.....	310
2.2.7.2. Unidades de obra defectuosas pero aceptables.....	311
2.2.7.3. Seguro de las obras.....	311
2.2.7.4. Conservación de la obra.....	312
2.2.7.5. Uso por el Contratista de bienes pertenecientes al Propietario.....	312
2.2.8. Obras no previstas.....	313
2.2.9. Liquidaciones	313
2.2.10. Garantía.....	314
2.2.11. Acta de Recepción Provisional y Certificación de Liquidación Provisional.....	314
2.2.12. Acta de Recepción Definitiva y Liquidación Final.....	314
2.2.13. Honorarios.....	314
2.2.14. Coste de adquisición de materiales.....	314
2.2.15. Revisiones de precios.....	315
2.2.16. Unidades de obra.....	315
2.2.17. Pruebas y análisis.....	315
2.2.18. Proveedores, marcas y firmas especializadas.....	316
2.2.19. Estimación de precios a priori.....	316
2.3. Condiciones de índole legal.....	316
2.3.1. Modificaciones de obra	316
2.3.2. Derecho de rescisión.....	317
2.3.3. Rescisión por incumplimiento del contrato.....	317
2.3.4. Liquidación en caso de rescisión.....	317
2.3.5. Traspaso de contrato.....	318
2.3.6. Muerte o quiebra del contratista.....	318
2.3.7. Cuestiones no previstas o reclamaciones.....	318

2.3.8. Fábricas y trabajos no previstos en este pliego.....	318
---	-----

3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES DE LA OBRA

3.1. Materiales de naturaleza pétrea	320
3.2. Materiales cerámicos.....	320
3.2.1. Ladrillos.....	321
3.2.2. Bloques cerámicos.....	321
3.2.3. Azulejos.....	322
3.3. Madera.....	322
3.4. Conglomerantes.....	323
3.4.1. Cemento.....	323
3.4.2. Yesos y escayolas.....	324
3.5. Aguas.....	324
3.6. Metales.....	325
3.6.1. Cobre.....	325
3.6.2. Acero.....	326
3.7. Vidrios.....	326
3.8. Aislantes eléctricos.....	327
3.9. Características de las instalaciones.....	327
3.9.1. Instalación eléctrica de baja tensión.....	327
3.9.2. Conductores subterráneos y para canalización en bandeja.....	328
3.9.3. Conductores para canalización bajo tubo.....	328
3.9.4. Conductores para subida a puntos de luz y canalizaciones en tubo de acero.....	328
3.9.5. Elementos metálicos.....	329
3.9.6. Morteros.....	329
3.9.7. Enfoscados.....	329
3.9.8. Enlucido yeso blanco.....	329
3.9.9. Pavimentos.....	330
3.9.10. Carpintería.....	330
3.9.11. Pinturas.....	331
3.9.12. Andamios.....	332
3.9.13. Ejecución de los trabajos de cerramientos laterales y de cubierta	332
3.9.14. Instalación de cerrajería.....	333

3.9.15. Instalación de fontanería y saneamiento.....	334
3.9.16. Instalación.....	335
3.9.17. Pruebas hidrostáticas.....	337
3.9.18. Instalación de alumbrado normal y de emergencia.....	338

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

4.1. Tanque de almacenamiento	340
4.2. Ventilador.....	341
4.3. Tuberías.....	341
4.4. Campana.....	342
4.5. Ciclón.....	343

1. OBJETO

El objeto del presente Pliego de Condiciones consiste en definir las condiciones que regirán en el suministro y ejecución de la obra que conlleva el proyecto: **“Dimensionamiento de un sistema de depuración de aire para eliminar la materia particulada producida en un aserradero”**.

El alcance de esta especificación incluye, pero no limita, el suministro o prestación de todos los materiales, equipo, mano de obra, derechos de patente y servicios necesarios para la realización del dimensionamiento de un sistema de depuración de aire de estas características.

2. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

2.1. CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVO

2.1.1. Condiciones Legales, Códigos, Normas, Leyes y Reglamentos de referencia.

El contratista se compromete a cumplir toda la legislación y reglamentos vigentes referentes a Seguridad y Medicina del Trabajo.

Todas las instalaciones que se efectúen en el desarrollo del presente Proyecto deberán dar cumplimiento al Decreto 462/1971 de 11 de marzo, del Ministerio de la Vivienda, a fin de garantizar al máximo, tanto la seguridad de los trabajadores como la solidez de la construcción, así como lo establecido en:

- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (B.O.E. de 7 y 30 de diciembre de 1961 y de 2 y 7 de mayo de 1962).
- Instrucciones Complementarias para la Aplicación del Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas. Orden del Ministerio de la Gobernación de 15 de marzo de 1963 (B.O.E. de 2 de abril de 1963).
- Protección del Ambiente Atmosférico. Ley 38/1972 de la Jefatura de Estado de 21 de diciembre de 1972.

- Normas Básicas de la Edificación. Acciones en la Edificación. NBE-EA-88.
- Real Decreto 2543/1994 de 29 de diciembre, por el que se aprueba la Norma de Construcción Sismorresistente
- Desarrollo de la Ley de Protección al Medio Ambiente Atmosférico. Decreto 833/1975 del Ministerio de Planificación de Desarrollo del 6 de febrero de 1975.
- Real Decreto 14/1996 de 16 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de la calidad de las aguas litorales. (B.O.J.A. de 13 de septiembre de 1997)
- Orden de 14 de febrero de 1997, por la que se clasifican las aguas litorales andaluzas y se establecen los objetivos de calidad de las aguas afectadas directamente por los vertidos, en desarrollo del Decreto 14/1996. (B.O.J.A. de 4 de marzo de 1997)
- Reglamento de prestación del servicio de saneamiento del lugar donde se instale el aserradero con el sistema de depuración del aire.
- Orden de 10 de agosto de 1976 sobre normas técnicas de análisis y valoración de contaminantes de naturaleza química. (B.O.E de 10 de noviembre de 1976)
- Normas del Ministerio de Trabajo sobre Seguridad e Higiene (B.O.E. de 12 y 16 de marzo de 1971).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (B.O.E. de 9 de octubre de 1973 y 27, 28, 29 y 31 de diciembre de 1973).

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua. Orden del ministerio de Obras Públicas del 28 de julio de 1974; (B.O.E. de 2 y 3 de octubre de 1974).
- Normas básicas para instalaciones interiores de suministro de agua. Orden del Ministerio de Obras Públicas de 9 de diciembre de 1979 (B.O.E. de 13 de enero de 1976).
- Real Decreto 1244/1979 de 4 de abril por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Presión.
- Código ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, 1986, sección VIII.
- Normativa específica de Seguridad e Higiene en el Trabajo:
 - LUGARES DE TRABAJO
 - Directiva del Consejo 89/391/CEE, de 12 de junio de 1989; relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
 - Directiva del Consejo 89/654/CEE, de 30 de noviembre de 1989; relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud en los lugares de trabajo (primera directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).
 - VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN
 - Orden de 9.3.71 (Ministerio de Trabajo). Ordenanza General de seguridad e Higiene en el trabajo. Art. 30: Ventilación, temperatura y humedad.
 - Orden de 16.7.81 (Ministerio de Presidencia). Instrucciones Técnicas Complementarias de Reglamento de Instalaciones de

Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria.
IT.IC.02:Exigencias ambientales y de confortabilidad.

▪ RUIDO

- Real Decreto 1316 de 1989, “Sobre la protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo”.

▪ VIBRACIONES

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Artículo 31: Ruidos, vibraciones y trepidaciones. (Orden del Ministerio de Trabajo de 9/3/71).
- Norma ISO 2631
- Norma ISO 5349

▪ ILUMINACIÓN

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OGSHT.)(O.M T.9 de marzo 1971).
- Real Decreto 486/1997 del 14 de Abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo
- Norma internaciones ISO 8995. (Primera edición 1989-10-01).

▪ CALOR Y FRÍO

- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Orden de 9 de marzo de 1971.
- Ambientes térmicos. Instrumentos y métodos de medida de los parámetros físicos. Norma española UNE-EN 27726, marzo de 1995.

- Ergonomía. Determinación de la producción de calor metabólico. Norma española UNE-EN 28996, marzo 1995.
- Ambientes pcalurosos. Estimación del estrés térmico del hombre en el trabajo basado en el índice WBGT. Norma española UNE-EN-27243, enero 1995.
- Norma internacional ISO 7933, julio 1989.
- Norma europea CEN 27730, julio 1993.

El contratista está obligado a la observación y cumplimiento de la Reglamentación del Trabajo correspondiente y de las demás disposiciones legales que regulen las relaciones entre Patronos y Obreros y todas aquellas de carácter social vigentes o que se dicten el tiempo de realización de la obra.

Nada que aparezca en esta especificación se interpretará como que el suministrador queda relegado de su responsabilidad de cumplir con todos los Códigos, Normas y Reglamentos aplicables.

2.1.2. Dirección técnica. Atribuciones

Es atribución exclusiva del Ingeniero la Dirección Facultativa de la obra, así como la coordinación de todo el equipo técnico que en ella pudiera intervenir. En tal sentido le corresponde realizar la interpretación técnica, económica y estética del Proyecto, así como señalar las medidas necesarias para llevar a cabo el desarrollo de la obra estableciendo las adaptaciones, los detalles complementarios y modificaciones precisas para la realización correcta de la obra.

La autoridad del Ingeniero es plena, pudiendo recabar la inalterabilidad del Proyecto, salvo que expresamente renuncie a dicho derecho o fuera rescindido del convenio de prestación de servicios suscrito con el Promotor, en los términos y condiciones legalmente establecidos.

El Ingeniero Técnico deberá entregar a su debido tiempo todos los documentos que integran el Proyecto desarrollando las soluciones de detalle y de obra que sean necesarias a lo largo de la misma.

Son obligaciones específicas del Ingeniero Técnico dar la solución a las instalaciones, establecer soluciones constructivas y adoptar soluciones oportunas en los casos imprevisibles que pudieran surgir, fijar los precios contradictorios, redactar las certificaciones económicas de la obra ejecutada, redactar las actas o certificaciones de comienzo y final de las mismas.

Estará obligado a prestar la asistencia necesaria, inspeccionando su ejecución, realizando personalmente las visitas necesarias y comprobando durante su transcurso que se cumplen las hipótesis del Proyecto, introduciendo en caso contrario las modificaciones que crea oportunas.

2.1.3. Dirección Facultativa. Atribuciones

Estará especializado fundamentalmente en el control, organización y ejecución de las obras, vigilando la estricta observancia del Proyecto y de las órdenes e instrucciones del Ingeniero Técnico Director.

Vigilará el cumplimiento de las Normas y Reglamentos vigentes, ordenará la elaboración y puesta en obra de cada una de las unidades y de los sistemas constructivos. Verificará la calidad de los materiales, dosificaciones y mezclas; comprobará las dimensiones, formas y disposición de los elementos resistentes y que su colocación y características correspondan a las que se fijan en el Proyecto.

Organizará la ejecución y utilización de las instalaciones provisionales y medios auxiliares y andamiajes a efecto de la seguridad, vigilará los encofrados, apeos, apuntalamientos y demás elementos resistentes auxiliares, incluido su desmontaje.

Llevará la medición de las unidades de obra construidas, así como la confección del calendario de obra, vigilando los plazos en él. Resolverá los problemas imprevisibles que puedan aparecer durante la ejecución dentro de la esfera de su competencia.

2.1.4. Personalidad del constructor

El constructor adjudicatario actuara de patrono legal adjudicatario aceptando todas las responsabilidades correspondientes, y quedando obligado al pago de los jornales que legalmente se establezcan, y en general, a todo cuanto se legisle al particular antes o durante la ejecución de la obra, sin perjuicio de reclamar los sobrepuestos o indemnizaciones a que haya lugar, según esta norma.

2.1.5. Libro de órdenes

El Contratista tendrá en la obra el Libro de órdenes y asistencias para que los Técnicos Directores de la obra consignen cuantas órdenes crean oportunas y las observaciones sobre las que deban quedar constancia.

El Contratista, firmado su enterado, se obliga al cumplimiento de lo allí ordenado si no reclama por escrito dentro de las cuarenta y ocho horas siguientes al Director de la obra.

2.1.6. Ejecución de la obra

Las obras serán ejecutadas por una empresa especializada conforme al presente proyecto, redactado por el Ingeniero Químico Dolores Fierro González, la cual nombrará a un Director Facultativo de las obras.

Se entregarán los plenos precios, que constan además de los documentos de Memoria, Presupuestos y Planos. Con la documentación entregada, se compromete a cumplir el plazo estipulado en el presente Documento.

2.1.6.1. Inspección de la obra

Incumbe a la Propiedad ejercer de una manera continua y directa, la inspección de la obra durante su ejecución a través de la Dirección Técnica. El Contratista o Su Delegado deberá acompañar en sus visitas inspectoras al Ingeniero Director.

2.1.6.2. Conservación de la obra

El Contratista está obligado no sólo a la ejecución de la obra, sino también a su conservación hasta su recepción definitiva. La responsabilidad del Contratista, por faltas que en la obra puedan advertirse, se extiende al supuesto que tales faltas se deban exclusivamente a una indebida o defectuosa conservación de las unidades de obra, aunque éstas hayan sido examinadas y encontradas conformes por la Dirección, inmediatamente después de su construcción o en cualquier otro momento, dentro del periodo de vigencia del contrato.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por la buena terminación de la obra, como en el caso de rescisión del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio, en caso de no hacerlo así le será fijado un plazo no inferior a diez días por el Ingeniero Director, pasado el cual, la Propiedad dispondrá de cuantos materiales, herramientas, muebles, etc, que queden en la obra y procederá a la limpieza del edificio, todo ello por cuenta del Contratista.

2.1.6.3. Señalización de la obra

El Contratista está obligado a instalar señales precisas para indicar el acceso a la obra, la circulación en la zona que ocupan los trabajos y los puntos posibles de peligro debido a la marcha de aquellos, tanto en dicha zona como en sus lindes inmediatas.

2.1.6.4. Seguros

El Instalador se compromete a asegurar con una compañía de seguros de ámbito y garantía nacional, el resarcimiento de los daños que se produzcan en las obras de este Pliego, por vicios de materiales y construcción general, todas aquellas responsabilidades que pueden derivarse de la misma en aplicación de lo dispuesto en la sección segunda, capítulo III del Código Civil y artículos 1902, 1903 y 1909 del mismo cuerpo legal, y por los plazos de garantía y prescripción que les corresponde.

Para el comienzo de ejecución de las obras, el instalador deberá mostrar al Director de las obras los documentos justificativos de haber cumplido la anterior condición.

El Director de las obras no autorizará el comienzo de las mismas si a su juicio no están lo suficientemente aseguradas y garantizadas las responsabilidades de las obras en sí.

2.1.6.5. Incumplimiento de los plazos

En caso de no quedar finalizadas las obras objeto de este contrato en el plazo fijado en el mismo por causas imputables a la empresa instaladora, se le impondrá una multa de 901,51 € en concepto de indemnización que le será deducida de la liquidación de la obra.

Bien entendido quede que no podrá librarse de su obligación de construir mediante el pago de esta prestación que se estima como cláusula penal. No podrá aceptarse como justificación de morosidad en la terminación de las obras el suministro de materiales o cualquier otra causa que no sea de fuerza mayor, la cual será apreciada por la Dirección Facultativa.

No se consideran causa de fuerza mayor: nevadas, hielos y otros fenómenos de naturaleza análoga, extremos que deberán ser acreditados por el Adjudicatario en tiempo y modo oportuno.

2.1.6.6. Comunicación de los retrasos en las obras

Los retrasos que puedan surgir en las obras por causas ajenas a la voluntad del Contratista deberán ser comunicadas y debidamente justificadas mediante comunicación escrita al Director de Obras y a la Propiedad en el plazo máximo establecido a tal efecto, desde la fecha en que se hallan producido.

Caso de que no se efectúe la comunicación en dicho plazo, o no se apruebe por el Director de la obra los citados retrasos, no serán reconocidos a efectos de los plazos y especificaciones anteriores.

2.1.7 Comprobación del replanteo

2.1.7.1. Acta de comprobación del replanteo

Dentro del plazo de quince días desde la fecha de formalización del contrato, salvo casos justificados, se procederá, en presencia de la Propiedad o personas en quien delegue, del Contratista o de su representante debidamente autorizado, a efectuar la comprobación del replanteo hecho previamente por el Contratista, extendiéndose acta de éste, que será firmada por los presentes como partes interesadas, recibiendo cada una de ellas un ejemplar de la misma.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del mismo, respecto de los documentos contractuales del proyecto, con especial referencia a las características geométricas de las obras, a la autorización para la ocupación de los terrenos necesarios y a cualquier otro punto que pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando del resultado de la comprobación del replanteo se deduzca la viabilidad del proyecto, a juicio del Ingeniero Director de la obra y sin reserva por parte del Contratista, se dará a aquel la autorización para iniciarla, haciéndose constar este extremo explícitamente en el acta extendida, de cuya autorización quedará notificado el Contratista por el hecho de suscribirla y emplazándose a contar el plazo de ejecución de las obras desde el día siguiente al de la firma del acta.

2.1.7.2. Gastos de comprobación del replanteo

Serán de cuenta del Contratista los gastos de los materiales, los de su propio personal y los de los peritos que estime necesarios para la realización de la comprobación del replanteo.

2.1.7.3. Modificaciones acordadas

Si como consecuencia de la comprobación del replanteo, se deduce la necesidad de introducir modificaciones en el proyecto, el Ingeniero Director redactará en el plazo de quince días y sin perjuicio de la remisión inmediata del acta, una estimación razonada del importe de dicha modificación.

Si la Propiedad decide la modificación del proyecto, se procederá a redactar las modificaciones precisas para su viabilidad, acordando la suspensión temporal total o parcial de la obra, y ordenando en éste último caso la inicialización de los trabajos en aquellas partes no afectadas por las modificaciones previstas en el proyecto.

2.1.8. Acciones previas a la ejecución de la obra

2.1.8.1. Verificación y conformidad del proyecto

El Contratista tiene la obligación de verificar todos los documentos del proyecto. En el caso de que el Contratista no indique a la Dirección Técnica, antes de la firma del acta de autorización, los posibles errores existentes, se hace responsable de los mismos.

2.1.8.2. Acta de autorización de inicio de la obra

El Contratista asistirá al replanteo del solar y fijación de rasantes, siendo los gastos que se produzcan tomados a su cuenta.

Previamente al inicio de las obras, deberá realizarse un acta de autorización de inicialización de las mismas, entre la Dirección Técnica y el Contratista. Este acta contendrá el Acta del replanteo, los plazos de ejecución, contratos, precios

descompuestos, licencia de obra, nombramiento del personal necesarios y aceptación del Contratista de lo expuesto en los documentos del proyecto.

2.1.8.3. Oficina para servicio de La Dirección

El Contratista habilitará una oficina por su cuenta para servicio de la Dirección Técnica, siendo aprobado su diseño y emplazamiento previamente por ésta. La oficina constará de los elementos que juzgue necesarios la Dirección Técnica y el Libro de Ordenes o fotocopia del mismo, así como copia de la documentación técnica usada en la obra.

2.1.8.4. Conservación de líneas de referencia

La Dirección Técnica con la colaboración del Contratista procederá a replantear sobre el terreno las líneas de referencia fundamentales y los puntos de nivel necesarios para el replanteo general.

2.1.8.5. Presentación del programa de trabajo

El Contratista está obligado a presentar en el plazo de un mes, salvo causas justificadas, desde la firma del contrato, un programa de trabajo. La Propiedad resolverá sobre él dentro de los treinta días siguientes a su presentación.

La resolución puede imponer modificaciones, por el cumplimiento de determinadas prescripciones, al programa de trabajo presentado, siempre que no contravenga las cláusulas del contrato.

En el programa de trabajo, a presentar en su caso por el Contratista, se deberán incluir los siguientes datos:

- a) Ordenación en parte o clase de obras, de las unidades que integran el proyecto con expresión del volumen de éstas.

- b) Determinación de los medios necesarios, tales como personal, instalaciones, equipo y materiales, con expresión de su rendimiento medio.
- c) Valoración en días de calendario de los plazos de ejecución de las diversas obras y operaciones preparatorias, equipo e instalaciones, y los de ejecución de las diversas partes de la obra.
- d) Valoración mensual y acumulada de la obra programada.
- e) Gráficos de las diversas actividades o trabajos.

2.1.8.6. Definición de obra por órdenes

Se concederá como definición de obra a realizar todas las órdenes que se dicten a lo largo de la ejecución de la obra por la Dirección Técnica o sus ayudantes delegados. Cuando las órdenes dictadas sean modificaciones de unidades definidas en el proyecto, se podrá exigir por el Contratista que la Propiedad las autorice previamente, siempre y cuando estas exigencias se realicen ante la Dirección Técnica y en un plazo que no exceda de dos días después del recibo de dichas órdenes.

2.1.8.7. Responsabilidad sobre la finalización de las obras

El Contratista es el único responsable de la ejecución de las obras contratadas, y del cumplimiento del plazo de finalización de las mismas, no teniendo derecho a indemnización por los errores que cometiera durante su construcción.

2.1.9 Equipo y maquinaria

2.1.9.1. Aportación de equipo y maquinaria

El Contratista queda obligado a aportar a las obras el equipo de maquinaria y medios auxiliares que sean precisos para la buena ejecución de aquella en los plazos parciales y totales convenidos por el contrato.

En caso de que para la ejecución del contrato hubiera sido condición necesaria la aportación por el Contratista de un equipo de maquinaria y medios auxiliares concretos y detallados, el Ingeniero Director exigirá aquella aportación en los mismos términos y detalles que se fijaron en tal ocasión.

Cada elemento de los que constituyen el equipo será reconocido por la Dirección, anotándose sus altas y bajas de puesta en obra con el inventario del equipo. Podrá también rechazar cualquier elemento que considere inadecuado para el trabajo de la obra, con derecho del Contratista a reclamar frente a tal resolución a la Propiedad en el plazo de diez días contados a partir de la notificación que le haga por escrito el Ingeniero Director.

2.1.9.2. Insuficiencia de equipo

El Contratista no podrá efectuar reclamación alguna fundada en la insuficiencia de la dotación o del equipo que la Propiedad hubiera podido prever para la ejecución de la obra, aun cuando éste estuviese detallado en alguno de los documentos del proyecto.

2.1.10. Ocupación de terrenos

2.1.10.1. Ocupación temporal de terrenos a favor del Contratista

Son de cargo del Contratista la gestión de los permisos relativos a la ocupación de bienes durante la obra y el pago de las tasas correspondientes de los mismos.

2.1.10.2. Uso temporal de bienes de la Propiedad

Cuando el Contratista ocupe temporalmente edificios y otros bienes inmuebles de la Propiedad, tendrá la obligación de conservarlos y repararlos en caso de deterioro.

2.1.10.3 Vigilancia de terrenos y bienes

Será la Dirección Técnica la que dictamine el momento en que el Contratista podrá ocupar los terrenos afectados por la obra. El Contratista será el responsable de la vigilancia de la vigilancia de los terrenos y bienes que haya en los mismos.

2.1.11. Materiales

2.1.11.1. Procedencia de los materiales

El Contratista tiene libertad para obtener los materiales que las obras precisen, siempre que los mismos reúnan las condiciones exigidas en el Pliego de prescripciones técnicas del presente proyecto.

Si durante la ejecución del contrato la Propiedad resolviera introducir en el proyecto modificaciones que produzcan aumentos o reducciones e incluso supresión de las unidades de obra definidas, serán obligatorias para el Contratista estas disposiciones, sin que tengan derecho alguno a reclamar ninguna indemnización.

2.1.11.2. Aprovechamiento de los materiales

El Contratista puede contratar con destino a la obra contratada, las sustancias minerales que se encuentran en los terrenos de la Propiedad, así como abrir y explorar canteras en ellos, con sujeción a las normas y establecidas por ente titular de aquellas, con obligación de darle aviso anticipado de sus actividades previstas y respetando o reponiendo las servidumbres existentes, así como adoptando las medidas oportunas para no perturbar el libre y seguro uso de dichos terrenos.

2.1.11.3. Materiales procedentes de las excavaciones

Los materiales o productos resultantes de las excavaciones en la obra y que puedan aprovecharse por la Propiedad serán acopiadas por la misma en los puntos o formas que ordene la Dirección, siéndole de abono los gastos suplementarios de transporte, vigilancia y almacenamiento.

2.1.11.4. Ensayos y análisis de los materiales y unidades de obra

La Dirección puede ordenar que se verifiquen los ensayos y análisis de los materiales y unidades de obra que en cada caso resulten pertinentes y los gastos que se originen serán por cuenta del Contratista, hasta un importe máximo del 1% del presupuesto de la obra.

La misma Dirección fijará el número, forma y dimensiones y demás características que deben reunir las muestras y probetas para ensayos y análisis, caso de que no exista disposición general al efecto ni establezca tales datos el Pliego de prescripciones Técnicas Particulares.

Si el Ingeniero Director tuviese la necesidad de realizar ensayos y pruebas una vez rebajado el 1 % del presupuesto de ejecución material, el Contratista tiene la obligación de realizarlos, siendo su abono a cuenta de la Propiedad, salvo en el caso de que los resultados fuesen desfavorables a juicio del Ingeniero Director, en tal caso se harán a cuenta del Contratista. Este y a sus expensas, podrá solicitar un nuevo ensayo realizado por el laboratorio elegido de común acuerdo con la Dirección y cuyo resultado servirá de base para la resolución pertinente a ésta.

2.1.11.5. Almacenes

El Contratista debe instalar en la obra, o por su cuenta, los almacenes precisos para asegurar la conservación de los materiales, evitando su destrucción o deterioro y siguiendo en su caso las instrucciones que a tal efecto reciba de la Dirección.

2.1.11.6. Recepción y recusación de materiales

El Contratista sólo puede emplear los materiales en la obra previo examen y aceptación de la Dirección Técnica en los términos y forma que ésta señale para el correspondiente cumplimiento de las condiciones convenidas.

Si la Dirección no aceptase los materiales sometidos a su examen, deberá comunicarlo por escrito al Contratista, señalando las causas que motivan tal decisión. En todo caso la recepción de los materiales por la Dirección no exime al Contratista de sus responsabilidades de cumplimiento de las características exigidas para los mismos en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

2.1.11.7. Retirada de materiales no empleados en la obra

Los materiales recusados serán retirados fuera de la obra en el menor plazo posible, pudiendo entre tanto el Ingeniero Director no certificar la ejecución de la parte afectada por dichos materiales.

2.1.12. Obras defectuosas o mal ejecutadas

Hasta que tenga lugar la recepción definitiva, el Contratista responderá de la ejecución de la obra contratada y de las faltas que en ella hubiera. El Contratista quedará exento de responsabilidad cuando la obra sea defectuosa o mal ejecutada como consecuencia inmediata de una orden de la Propiedad o de vicio del proyecto, salvo que éste haya sido modificado por el Contratista en la obra.

Si se advierten vicios o defectos en la construcción o se tienen razones fundadas para creer que existen ocultos en la obra ejecutada, la Dirección ordenará, durante el curso de la ejecución de las unidades de obra y siempre antes de la recepción definitiva, la demolición o reconstrucción de las unidades de obra en que se den aquellas

circunstancias o las acciones precisas para comprobar la existencia de tales defectos ocultos.

Si la Dirección ordena la demolición y reconstrucción por advertir vicios y defectos en la construcción, los gastos de estas operaciones serán por cuenta del Contratista, con derecho de éste a reclamar ante la Propiedad contratante en el plazo de diez días contados a partir de la notificación escrita de la Dirección.

Si la Dirección estima que las unidades de obra defectuosas y que no cumplen las condiciones del contrato son sin embargo admisibles, puede proponer a la Propiedad la aceptación de las mismas, con la consiguiente rebaja de los precios. Los precios de las unidades de obra de trabajos que no figuren en el Contrato se fijarán de forma contradictoria entre la Dirección Técnica y el Contratista o su representante.

El Contratista presentará los precios en forma descompuesta, siendo necesaria su aprobación antes de ejecutar las unidades de obra correspondientes. Para recoger el acuerdo sobre estos precios se levantarán actas, que deben ser firmadas por la Dirección Técnica, la Propiedad y el Contratista o sus representantes autorizados.

Se prevé también los casos de revisión por alza o baja de éstos. Para revisiones en alza, el Contratista puede solicitar a la Propiedad la revisión, siempre que haya cumplido lo dispuesto anteriormente, se comprometerá además a informar por escrito a la Propiedad de cualquier alteración de los precios contratados. El nuevo precio y la fecha de aplicación se acordará por ambas partes.

Si la Propiedad o la Dirección Técnica no estuvieran de acuerdo con los nuevos precios, esta última podrá proponer al Contratista unos nuevos precios, teniendo éste la obligación de aceptarlos.

2.1.13. Abono de la obra ejecutada

2.1.13.1. Medición y valoración

- **Mediciones**

La Dirección realizará mensualmente y en la forma que establece el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el periodo de tiempo anterior. El Contratista o su delegado podrán presenciar la ejecución de tales mediciones.

Para las obras o parte de ellas cuyas dimensiones y características hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el Contratista está obligado a avisar a la Dirección con la suficiente antelación a fin de que esta pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que la definen, cuya conformidad suscribirá el Contratista o su delegado.

- **Relaciones valoradas**

El Director tomando como base las mediciones de las unidades de obra ejecutadas, a que se refiere el artículo anterior y los precios contratados, redactará la correspondiente relación valorada.

No podrá omitirse la redacción de dicha relación valorada mensual por el echo de que, en algún mes, la obra realizada haya sido de pequeño volumen o incluso nulo, a menos que la Propiedad hubiese acordado la suspensión de la obra.

En la misma fecha en que la Dirección tramita la relación valorada, remitirá al contratista una copia de la misma, a los efectos de conformidad o reparo, que el Contratista podrá formular a partir de los quince días contados desde la recepción de los documentos. En su defecto, y pasado este plazo, el documento se considerará aceptado por el Contratista, como si él hubiera suscrito en ello su conformidad.

- **Certificaciones**

Las certificaciones se expedirá por el Ingeniero Director tomando como base la relación valorada y se tramitará en los siguientes diez días del periodo que corresponda. De su importe deducirá el Ingeniero Director el tanto por ciento que para la constitución de fianza se haya establecido en el contrato y de no especificarse será del diez por ciento de la contrata.

2.1.13.2. Abono de las obras

- **Requisitos para el abono**

El Contratista tiene derecho al abono, con arreglo a los precios convenidos de la obra que realmente ejecute con relación al proyecto que sirvió de base para la licitación, a sus modificaciones aprobadas y a las órdenes dadas por escrito a la Propiedad.

- **Mejoras propuestas por el Contratista**

El Contratista podrá proponer, siempre por escrito a la Dirección, la sustitución de unidades de obra por otras que reúnan mejores condiciones, el empleo de materiales de mas esmeradas preparaciones o calidades que loas contratados, la ejecución con mayores dimensiones de cualquier parte de la obra, o en general cualquier otra mejor o de análoga naturaleza que juzgue beneficiosa para ella.

- **Precios**

Todos los trabajos, medios auxiliares y materiales que sean necesarios para la correcta ejecución y acabado de cualquier unidad de obra se considerarán incluidos en el precio de la misma aunque no figuren todos ellos especificados en la descomposición o descripción de los precios.

- **Partidas alzadas**

Las partidas alzadas se abonarán conforme se indique en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares. En su defecto, se considerarán a los efectos de su abono:

- a) Como “Partidas alzadas a justificar”, las susceptibles de ser medidas en todas sus partes como unidades de obra, con precios unitarios.
- b) Como “partidas alzadas de abono íntegro”, aquellas que se refieren a los trabajos cuya especificación figure en los documentos contractuales del proyecto, y no sean susceptibles de medición según Pliego.

Las partidas alzadas a justificar se abonarán a los precios de la contrata con arreglo a las mismas y el resultado de las mediciones correspondientes. Para que la introducción de nuevos precios así determinados, se considere modificación del proyecto, habrán de cumplirse conjuntamente las condiciones siguientes:

- a) Que la propiedad contratante haya aprobado además de los nuevos precios, la justificación y descomposición de la partida alzada.
- b) Que el importe total de dicha partida alzada, teniendo en cuenta su valoración, tanto los precios incluidos en los cuadros de precios como los nuevos precios de ampliación, no excedan del importe de la misma figurado en el proyecto.

Las partidas alzadas de abono íntegro se abonarán al Contratista en su totalidad, una vez terminados los trabajos u obras a que se refieran, de acuerdo con las condiciones del contrato sin perjuicio de las que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares pueda establecer respecto de su abono fraccionado en caso justificado.

2.1.14. Modificación del contrato

2.1.14.1. Modificación en la obra

Cuando sea necesario introducir modificaciones en el proyecto de las obras que rigen el contrato, el Ingeniero Director redactará la oportuna propuesta, integrada por

los documentos de justificación por la Propiedad, y requerirá la previa audiencia del Contratista. Una vez se produzca dicha aprobación, la Propiedad entregará al Contratista copias de los documentos del proyecto que hayan sido objeto de nueva redacción, motivada por la variación en el número de unidades nuevas.

2.1.14.2. Variaciones en los plazos de ejecución

En cuanto a la variación en mayor o menor medida de los plazos que se deriven de las obras aprobadas, el Contratista expondrá por escrito dirigido a la Propiedad la repercusión a considerar en la marcha de los trabajos y el retraso que pueda originarse en los plazos acordados.

2.1.14.3 Modificaciones no autorizadas

Ni el Contratista ni el Ingeniero Director podrán introducir o ejecutar modificaciones en la obra objeto del contrato, sin la debida aprobación de aquellas, ni del presupuesto correspondiente por parte de la Propiedad.

Exceptuándose aquellas modificaciones que, durante la correcta ejecución de la obra, se producen únicamente por variación en el número de unidades realmente ejecutadas sobre las previstas en las indicaciones del proyecto.

Las modificaciones en las obras que no estén debidamente autorizadas por la Propiedad originarán responsabilidad en el Contratista, sin perjuicio de las que pudieran alcanzar al Director de la obra.

2.1.15. Suspensión de las obras

Siempre que la Propiedad acuerde una suspensión temporal, parcial o total de la obra, o una suspensión definitiva, se deberá levantar la correspondiente acta de suspensión, que deberá ir firmada por el Ingeniero Director y el Contratista, y en la que

se hará constar el acuerdo de la Propiedad que originó la suspensión, definiéndose concretamente la parte, partes o totalidad de la obra afectada por aquella.

El acta debe acompañar, como anexo, y en relación con la parte o partes suspendidas, la medición tanto de la obra ejecutada en dicha o dichas partes, como en los materiales acopiados a pie de obra, utilizables exclusivamente en las mismas.

2.1.16. Resolución del contrato

2.1.16.1. Sanciones al Contratista por causas imputables al mismo

En caso de resolución del contrato, por causas imputables al Contratista, la fijación y valoración de los daños y perjuicios causados se verificará por el Ingeniero Director, y resolverá la Propiedad previa audiencia del Contratista.

2.1.16.2. Errores de proyecto

Los errores materiales que puede contener el proyecto o presupuesto elaborado por la Propiedad, no anularán el Contrato.

2.1.16.3. Incumplimientos por parte del Contratista

El incumplimiento por parte del Contratista de cualquier cláusula contenida en el contrato, autoriza a la Propiedad a exigir su extracto cumplimiento, o bien acordar la resolución del mismo. Si ha habido fraude por parte del Contratista, se acordará siempre la resolución del contrato.

2.1.16.4. Causas de resolución del contrato

Son causas de resolución del contrato de obra:

- a) El incumplimiento de las cláusulas contenidas en el mismo.
- b) Las modificaciones del proyecto, aunque fueran necesarias, que impliquen, aislada o conjuntamente, alteraciones del precio del contrato en cuantía superior a más o menos del 20 % del importe de aquel.
- c) La suspensión definitiva de las obras acordadas por la Propiedad, así como la suspensión temporal de las mismas por un plazo superior a un año, también acordada por ella.
- d) La muerte del Contratista individual.
- e) La extinción de la sociedad jurídica de la sociedad contratista.
- f) La quiebra del Contratista.
- g) Aquella que se establezca expresamente en el contrato.

2.1.17. Conclusión del contrato

2.1.17.1. Recepción provisional de la obra

- **Aviso de terminación de la obra**

El Contratista o su delegado, con una antelación de cuarenta y cinco días hábiles, comunicará por escrito a la Dirección la fecha prevista para la terminación de la obra.

El Ingeniero Director, en caso de conformidad con la citada comunicación del Contratista, la llevará con su informe con una antelación de un mes respecto a la fecha de terminación de la obra, a la Propiedad, a los efectos de que éste presente en el acto de la recepción provisional o proceda al nombramiento de un representante autorizado.

- **Acta de recepción provisional**

La Propiedad o el representante a que se refiere la cláusula anterior fijará la fecha de la recepción provisional y a dicho objeto, citará por escrito al Ingeniero Director y al Contratista o su representante.

De la recepción provisional se levantará por triplicado, ejemplar que firmará el representante de la Propiedad, el Ingeniero Director y el Contratista, o su representante autorizado, siempre que hayan asistido al acto de recepción, retirando un ejemplar de dicha acta cada uno de los firmantes. Si el Contratista o su delegado no han asistido a la recepción provisional, el representante de la Propiedad le remitirá con acuse de recibo un ejemplar del acta.

En el acta se hará constar el estado de terminación conforme al proyecto, así como todas las diferencias u omisiones que se observen, y se emplazará al Contratista para que subsane las diferencias, que por no ser substanciales, se fijará un plazo breve para corregirlas.

- **Prórroga de finalización de la obra**

Si por causas de fuerza mayor e independientemente de la voluntad del Contratista y siempre que esta sea distinta de la rescisión, no le fuese posible terminar la obra en los plazos prefijados, la Propiedad puede otorgar una prórroga proporcionada para el cumplimiento de lo pactado, previo informe favorable del Ingeniero Director. Para ello, el Contratista expondrá por escrito a la Propiedad, a través del Ingeniero Director la causa que le impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello originaria en los plazos acordados, razonando la prórroga que por dichas causas necesita.

- **Conservación de la obra durante el plazo de garantía**

El Contratista responderá de los daños o deterioros que puedan producirse en la obra durante el plazo de garantía, a no ser que prueben que los mismos hayan sido ocasionados por el mal uso que ellas hubiesen hecho los usuarios o la entidad encargada de la explotación, y al cumplimiento de sus obligaciones, vigilancia y policía de la obra. En dicho supuesto tendrán derecho a que se reembolse el importe de los trabajos que deban realizarse para establecer en la obra las condiciones debidas, pero no quedará exonerado de la obligación de llevar a cabo los citados trabajos.

2.1.17.2. Medición general y liquidación provisional

- **Medición general**

El Ingeniero Director de la obra citará, con acuse de recibo, al Contratista o su delegado, y fijará la fecha en la que, en función del plazo establecido por la liquidación provisional de la obra ejecutada, ha de procederse a su medición general.

El Contratista, bien personalmente, o bien mediante delegación autorizada, tiene la obligación de asistir a la toma de datos y realización de la medición general que efectuará la Dirección Técnica. Si por causas que le sean imputables no cumple tal obligación, no podrá ejercitar reclamaciones en orden al resultado.

Para realizar la medición general se utilizarán como datos complementarios la comprobación del replanteo, los replanteos parciales y los datos de las mediciones efectuadas durante la ejecución de la obra, el Libro de Incidencias, y cuantos otros estimen necesarios el Ingeniero Director y el Contratista.

- **Liquidación provisional**

El Ingeniero Director formulará en el plazo máximo de tres meses desde la fecha de recepción provisional, la liquidación provisional, aplicando al resultado de la medición general, los precios y condiciones económicas del contrato. Los reparos que estime oportunos hacer el Contratista, a la vista de la liquidación provisional, los dirigirá por escrito a la Administración en la forma establecida en el último párrafo de la cláusula anterior y dentro de un mes, pasado el cual se entenderá que se encuentra conforme con el resultado y detalles de la liquidación.

2.1.17.3. Recepción y liquidación definitivas

- **Acta de recepción definitiva**

El Ingeniero Director comunicará a la Propiedad con una antelación mínima de un mes, la fecha de terminación del plazo de garantía, a los efectos de que aquella proceda de por sí o mediante la designación de un representante para la recepción definitiva a fija la fecha de celebración de la misma, con antelación mínima de diez días, citando por escrito al Ingeniero Director y al Contratista o su delegado.

La asistencia del Contratista a la recepción definitiva se regirá por idénticos principios, reglas y trámites que los expresados para la recepción provisional.

Si del examen de la obra resulta que no se encuentra en las condiciones debidas para ser recibida con carácter definitivo, se hará constar así en el acta, y se incluirán en esta las oportunas instrucciones al Contratista para la debida reparación de lo construido, señalándose un nuevo y último plazo para el cumplimiento de sus obligaciones, transcurrido el cual, se volverá a examinar la obra con los mismos tramites y requisitos señalados a fin de proceder a su recepción definitiva.

2.2.CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICO

2.2.1. Principio general

En este capítulo se trata de normalizar las relaciones económicas entre la propiedad y la contrata, y marca el papel del Ingeniero Director de la obra en estos temas, estableciendo como principio que el contratista debe percibir el importe de todos los trabajos efectuados, siempre que estos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y Particulares que rijan la construcción del edificio y obras anejas contratadas.

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

La Propiedad, el Contratista, y en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

2.2.2.Fianza. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza y devolución de la misma

2.2.2.1.Fianza

El Contratista presentará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos, según se estipule:

- a) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3% y 10% del precio total de contrata.
- b) Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

2.2.2.2. Fianza provisional

En caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el pliego de condiciones vigente en la obra, de un tres por ciento como mínimo del total presupuestado de contrata.

El Contratista a quien se haya adjuntado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será del 10% de la cantidad por la se haga la adjudicación de la obra, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificadas en el apartado anterior.

El plazo señalado en el apartado anterior, no excederá de 30 días a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibo que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

2.2.2.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, Dirección Facultativa, en nombre y representación del propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

2.2.2.4. De su devolución en general

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 30 días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos...

2.2.2.5. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si la Propiedad, con la conformidad de la Dirección Facultativa, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

2.2.3. De los precios

El Contratista de las obras presentará dentro de los veinte días siguientes a la firma del presente documento precios unitarios de materiales, mano de obra y precios descompuestos de todas las partidas en proyecto.

2.2.3.1. Composición de los precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial. Se consideran costes directos:

- a) Mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de las unidades de obra.
- b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

Se consideran costes indirectos:

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de Administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos.

Beneficio industrial: El Beneficio industrial del Contratista se establece en el 11 % sobre la suma de las anteriores partidas.

Precio de ejecución material: Se denominará precio de ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del beneficio industrial.

Precio de contrata: El precio de contrata es la suma de los costes directos, los indirectos, los Gastos Generales y el beneficio Industrial.

El IVA gira sobre esta suma pero no se integra en el precio.

2.2.3.2. Precios de contrata e importe de contrata

En el caso de que los trabajos a realizar en cualquier obra aneja se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de ejecución material, mas el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de beneficio industrial del Contratista. El beneficio se estima normalmente en 11%, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

2.2.3.3. Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio de la Dirección facultativa decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista. El Contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre la Dirección Facultativa y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que se determine al efecto. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

2.2.3.4. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas

Si el Contratista antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

2.2.3.5. Formas tradicionales de medir o aplicar los precios

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se extenderá a lo previsto en primer lugar a este pliego de condiciones.

2.2.3.6. De la revisión de los precios contratados

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el calendario, un montante superior al 3% del importe total del presupuesto del Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el presente Pliego, percibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3%.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el calendario de la oferta.

2.2.3.7. Acopio de materiales

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito. Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario son de la exclusiva propiedad de éste; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

2.2.4. Obras por administración

2.2.4.1. Administración

Se denominan “Obras por Administración” aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un Contratista. Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- a) Obras por Administración directa.
- b) Obras por Administración delegada o indirecta.

2.2.4.2. Obras por Administración Directa

Se denominan así las obras en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser la propia Dirección Facultativa, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a obra y en suma, interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en éstas obras el Contratista, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quien reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de Propietario y Contratista.

2.2.4.3. Obras por Administración delegada o indirecta

Se entienden por tales obras, las que convienen un Propietario y el Contratista para que éste, por cuenta de aquel y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan. Son por tanto, características peculiares de este tipo de obras las siguientes:

- a) Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Contratista todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos, reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio de la Dirección facultativa, en su representación, el orden y la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea precisos para regular la realización de los trabajos convenidos.
- b) Por parte del Contratista, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello el Propietario un tanto por ciento prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Contratista.

2.2.4.4. Liquidación de obras por Administración

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines establezcan las condiciones particulares de índole económica vigentes en la obra; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Contratista al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el representante técnico de la Dirección Facultativa:

- a) Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.
- b) las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada equipo, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.
- c) Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o retirada de escombros.
- d) Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Contratista, ya que su abono es siempre de cuenta del Propietario.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión haya intervenido el Contratista se le aplicará, a falta de convenio especial, un 17%, entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los gastos generales que al Contratista originen los trabajos por administración que realiza y el beneficio industrial del mismo

2.2.4.5. Abono al Contratista de las cuentas de administración delegada

Salvo pacto distinto, los abonos al Contratista de las cuentas de administración delegada los realizará el propietario mensualmente según los partes de trabajo realizados aprobados por el propietario o por sus representantes.

Independientemente, el representante técnico de la Dirección Facultativa redactará, con igual periodicidad, la medición de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Contratista salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

2.2.4.6. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos

No obstante las facultades que en estos trabajos por Administración delegada se reserve el propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Contratista se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al propietario, o en su representación a la Dirección Facultativa, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa autorización antes de adquirirlos.

2.2.4.7. Responsabilidad del Contratista en el bajo rendimiento de los obreros

Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Contratista a la Dirección Facultativa, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en alguna de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Contratista, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por la Dirección Facultativa.

Si hecha esta notificación al Contratista, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el Propietario queda facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe del 17% que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Contratista en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deben efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

2.2.4.8. Responsabilidades del Contratista

En los trabajos de “Obras por administración delegada”, el Contratista sólo será responsable de los efectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por él ejecutadas y también de los accidentes y perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en

artículos precedentes, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo.

En virtud de lo anteriormente consignado, el Contratista está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

2.2.5. De la valoración y abono de los trabajos

2.2.5.1. Formas varias de abono de las obras

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras, el abono de los trabajos se efectuará así:

1º Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.

2º Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas. Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

3º Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes de la Dirección Facultativa. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

4º Por listas de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente pliego determina.

5º Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

2.2.5.2. Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los pliegos de condiciones que rijan en la obra, formará el Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el aparejador.

Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando el resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el pliego de condiciones económicas respecto a mejoras o sustituciones de material y las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación, se facilitarán por el aparejador los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de 10 días, a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, la Dirección Facultativa aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiere, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución de la Dirección Facultativa en la forma prevenida en los Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales.

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá la Dirección Facultativa la certificación de las obras ejecutadas. De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los precios que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Arquitecto-Director lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

2.2.5.3. Mejoras de obras libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluso con la autorización de la Dirección Facultativa, emplease materiales de mas esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o en general, introdujese en ésta y sin pedírsela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

2.2.5.4. Abono de los trabajos presupuestados con partida alzada

Salvo lo preceptuado en los apartados de índole económica del pliego, vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partida alzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- a) Si existen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partida alzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- b) Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partida alzada, deducidos de los similares contratados.

- c) Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partida alzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo en el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso, la Dirección Facultativa indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el presupuesto aprobado, ó, en su defecto, a los que con anterioridad a su ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el presente pliego en concepto de gastos generales y beneficio industrial del Contratista.

2.2.5.5. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones u otra clase de trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de contratarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionasen, los cuales le serán abonados por el propietario por separado de la contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total, que, en su caso, se especifique en éste pliego.

2.2.5.6. Pagos

Los pagos se efectuarán por el propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por la Dirección Facultativa, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

2.2.5.7. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

1° Si los trabajos que se realicen estuviesen especificados en el proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y la Dirección Facultativa exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos correspondientes, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.

2° Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.

3° Si se han ejecutados trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

2.2.6. Las indemnizaciones mutuas

2.2.6.1. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retrasos, contados a partir del día de terminación fijado en el calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

2.2.6.2. Demora de los pagos

Si el propietario no efectuase el pago de las obras efectuadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el

derecho de percibir un abono de un cuatro y medio por ciento anual, en concepto de interés de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obra ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anterior expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha intervenido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuestos correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

2.2.7. Varios

2.2.7.1. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso de que la Dirección Facultativa haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del proyecto, a menos que la Dirección Facultativa ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales y los aumentos que todas estas mejoras supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando la Dirección Facultativa introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

2.2.7.2. Unidades de obra defectuosas pero aceptables

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obras defectuosas, pero aceptables a juicio de la Dirección Facultativa, esta determinará el precio o partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo en el caso de que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

2.2.7.3. Seguro de las obras

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la entidad aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuenta a nombre del propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción.

En ningún caso salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el Contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro que serán tasados a estos efectos por la Dirección Facultativa.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de este su previa conformidad o reparos.

2.2.7.4. Conservación de la obra

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que la edificación no haya sido ocupada por el propietario antes de la recepción definitiva, el Arquitecto-Director, en representación del propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la Contrata.

Al abandonar el Contratista la obra, tanto por buena terminación de las mismas, como en el caso de resolución del contrato esta obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que la Dirección Facultativa fije.

Después que la recepción provisional corra a cargo del Contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., Que los imprescindibles para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar. En todo caso, ocupada o no la obra, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente pliego de condiciones económicas.

2.2.7.5. Uso por el Contratista de bienes pertenecientes al Propietario

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en perfecto estado de conservación,

reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios o propiedades que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el propietario a costa de aquel y con cargo a la fianza.

2.2.8. Obras no previstas

Cuando hayan de ejecutarse obras o unidades no previstas cuya necesidad se presente durante la ejecución de las obras que sean objeto de la creación de precios nuevos contradictorios, quedan obligados antes de comenzar la ejecución de estas unidades no previstas a advertir a la Dirección Facultativa y a la Propiedad la operación, así como de su repercusión económica sobre la totalidad de las obras, no pudiendo realizarlas sin el consentimiento de ambas.

Estos precios serán redactados por la Contrata y aprobados por la Dirección Facultativa y la Propiedad siendo afectada del alza objeto de concurso (si es que hubiera), que esté aprobado para el resto de la obra.

Si estas unidades de obra las ejecutara el Contratista antes de formalizarse el correspondiente precio, quedará éste sujeto al determinado por la Dirección Técnica.

2.2.9. Liquidaciones

Las obras se liquidarán mediante certificaciones o relaciones valoradas, aprobadas por el Director de Obras. Estas certificaciones tendrán carácter de abono a buena cuenta. Una vez redactadas las certificaciones se remitirán a la empresa adjudicataria.

2.2.10. Garantía

De las certificaciones se retendrá un 5% de su importe por parte de la Propiedad, en concepto de garantía, y será devuelta una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva, incluyéndola en la valoración final de las obras.

2.2.11. Acta de Recepción Provisional y Certificación de Liquidación Provisional

Terminadas las obras, se procederá a levantar la correspondiente Acta de Recepción Provisional, en la que se recoja en su caso las correcciones que hayan de efectuarse por parte de la Contrata, así mismo, se efectuará en el plazo máximo de dos meses a partir del Acta de Recepción Provisional de las obras, la Certificación de Liquidación Provisional.

2.2.12. Acta de Recepción Definitiva y Liquidación Final

Pasados cuatro meses de la firma del Acta de Recepción Provisional, se procederá a la firma del Acta de Recepción Definitiva, siempre que en dicho plazo se hayan efectuado las correcciones previstas en el apartado anterior. Una vez firmada el Acta, se procederá a la redacción de la valoración de la Liquidación final de las obras.

2.2.13. Honorarios

Las certificaciones mensuales de las obras, además de los incrementos previstos por el Presente Pliego de Condiciones, se incrementarán con el importe correspondiente a honorarios por Dirección de Obras.

2.2.14. Coste de adquisición de materiales

En las certificaciones se podrán incluir, previa autorización del Director de las Obras, además de las obras ejecutadas, el 65% del coste de adquisición de materiales apropiados para las obras, de los cuales no podrá disponer el Instalador para otros fines y será responsable de su custodia y conservación mientras no se empleen en las obras y sigan figurando en las relaciones valoradas.

En ningún caso podrá certificarse como materiales acopiados, como máximo los materiales necesarios para un mes, a no ser que previamente la Propiedad y el Director de las Obras lo autoricen.

2.2.15. Revisión de precios

En lo que respecta a revisiones de precios, se conviene que los mismos se ajustarán a lo establecido por el Decreto-Ley 2/1964 del 4 de Febrero de 1964 (B.O.E. 24-3-71), basándose para su aplicación en las fórmulas polinómicas fijadas por el Decreto 3650/1970 del 19 de Diciembre de 1970 (B.O.E. 24-12-1970; fórmulas 1 a 39), y el Real Decreto 2167/1981 (B.O.E. 24-9-1981; fórmulas 40 a 48).

Cada una de estas fórmulas son válidas para un tipo de obra bien determinado y especificado. Las revisiones de las obras se realizarán según la fórmula polinómica nº 470 establecida según el citado Decreto 3650/1981.

En caso de producirse revisiones de precios con el sistema establecido, sus importes sólo se incluirán en la valoración y liquidación provisional de las obras.

2.2.16. Unidades de obra

Para cualquier interpretación en cuanto a unidades de obra se aplicará el criterio de precios descompuestos.

2.2.17. Pruebas y análisis

Con la frecuencia que se estime oportuna, la Dirección Técnica ordenará pruebas y análisis de materiales, mezclas, dosificaciones, etc., cuyos gastos serán a cuenta de la empresa adjudicataria, la cual estará obligada a dar toda clase de facilidades, para las más rápida y mejor realización de las mismas.

2.2.18. Proveedores, marcas y firmas especializadas

Para la contratación de determinadas partidas (albañilería, instalaciones especiales, etc.) la Propiedad al instalador las firmas especializadas a las que se desee se les pidan precios, para que en igual o mejores condiciones técnico-económicas respecto a una libre elección, pueden ser designados por él como proveedores de los efectos e instalaciones necesarias.

2.2.19. Estimación de precios a priori

Si la complicación de las obras impidiera la estimación de un precio a priori, las obras se realizarán por el sistema de Administración, pero previamente la Contrata remitirá la relación de precios de materiales y costes de mano de obra para su aprobación.

De no cumplirse los anteriores requisitos, la Dirección Facultativa de las obras fijará el precio que considere razonable. Hay que dejar constancia que las condiciones que se exigen en este Pliego son las mismas aceptables.

2.3. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

2.3.1. Modificaciones de obra

La obra podrá ser cambiada, disminuida, aumentada o suspendida total o parcialmente por el adjudicador. En el caso en el que el adjudicatario se vea perjudicado en sus intereses, solicitará la indemnización a que se considere acreedor, y cuya estimación someterán las partes al laudo de la comisión arbitral. En los casos de suspensión no correrá plazo.

2.4.2.Derecho de rescisión

El constructor podrá rescindir el contrato en los siguientes casos:

- Cuando las variaciones introducidas en la obra aumenten o disminuyan el importe total de ésta en más de un 20%.
- Cuando por razones ajenas al constructor se pase más de un año sin poder trabajar en la obra, en una escala equivalente a la mitad de la prevista, con arreglo al plazo establecido.
- Cuando se retrase más de seis meses el pago de alguna relación valorada.

En caso de rescisión sin cumplimiento de contrato por parte del constructor, éste tendrá derecho al cobro de los gastos no resarcibles efectuados hasta la fecha de la notificación y valorados contradictoriamente, más de un 3% de la obra que reste por ejecutar.

2.4.3.Rescisión por incumplimiento del contrato

En el caso de retraso injustificado sobre los plazos fijados se impondrá al constructor una multa del 1,5% del presupuesto por cada 1% de retraso respecto al plazo.

Los retrasos superiores al 25% así como los incumplimientos de contrato, serán motivo suficiente para su rescisión con pérdida de la fianza, aparte de las responsabilidades que quepan al constructor con arreglo al Código Civil.

2.4.4.Liquidación en caso de rescisión

En caso de rescisión se hará una liquidación única que será la definitiva con arreglo a lo estipulado en este pliego. El constructor además es responsable de todos sus bienes con arreglo al código.

2.4.5. Traspaso de contrato

Será facultativo del adjudicador autorizar la petición del constructor de traspasar el contrato a otro constructor siempre que éste cumpla las condiciones señaladas en el apartado correspondiente.

2.4.6. Muerte o quiebra del contratista

En caso de muerte o quiebra del constructor podrán sus herederos traspasar a otro Contratista previa aprobación del adjudicador.

2.4.7. Cuestiones no previstas o reclamaciones

Todas las cuestiones que pudieran surgir sobre interpretación, perfeccionamiento y cumplimiento de las condiciones del contrato entre el adjudicador y el constructor serán resueltas por la comisión arbitral.

La comisión arbitral deberá dictar resolución después de oídas las partes dentro de los quince días siguientes al planteamiento del asunto ante la misma, Durante este plazo el constructor deberá acatar las órdenes del Director de Obra sin perjuicio de reclamar las indemnizaciones correspondientes si la resolución le fuese favorable.

Entre las resoluciones dictadas por la comisión arbitral figurará en todo caso la proposición de que cada una de las partes deberán participar en el abono de los honorarios de las personas que forman la comisión y de los peritos cuyo informe haya sido solicitado por ella.

2.4.8. Fábricas y trabajos no previstos en este pliego

En la ejecución de las obras, fábricas y trabajos que entren en la construcción de las obras para las cuales no existan prescripciones en este Pliego, el Contratista se atenderá en primer lugar a lo que resulte de la inspección de los planos, cuadros de precios y presupuestos; en segundo lugar a las reglas que dicte la dirección de la obra y

en tercero a las buenas prácticas seguidas en fábricas y trabajos análogos por los mejores constructores.

Todos los planos e instrucciones estarán de acuerdo con los documentos del contrato, estas obras se considerarán adicionales a los mismos y tendrán la misma fuerza ejecutiva que aquellos. El Contratista no efectuará ningún cambio en el trabajo, salvo cuando le sea requerido por escrito por la Dirección de la obra o cuando resulte de las revisiones de planos o la emisión de nuevos planos que le sean oficialmente entregados.

El Contratista se compromete a realizar cuantas obras suplementarias o cambios, tanto en aumento o disminución, en el trabajo, que le sean solicitados por la Dirección y ejecutará este trabajo extra autorizado en los términos y bajo las condiciones del contrato, siempre que el aumento quede comprendido dentro del objeto y alcance del trabajo, indicado en las condiciones del contrato.

Las obras no previstas o sin autorización de cambio serán a cargo del contratista, a menos que la Dirección de la obra decida lo contrario.

Se entregará una copia del documento de "Autorización de cambio" al Contratista, quien la adjuntará a la certificación mensual.

El Contratista no emprenderá ningún trabajo adicional que no esté comprendido dentro del objeto o alcance del trabajo, salvo que, antes de comenzar este trabajo adicional, se le haya cursado una cláusula adicional al contrato, autorizando explícitamente dicho trabajo.

Los materiales suplementarios suministrados por el contratista, no relacionados en los planos o especificaciones que forman parte del contrato original, se abonarán a precio de coste incrementado en un 10%. Este precio incluye todos los gastos generales, incluyendo el transporte a la obra. No se adquirirá ningún material suplementario sin la autorización previa por escrito de la Dirección de la obra. El importe de las obras suplementarias o de la autorización de cambio, se determinará por el procedimiento que determine la Dirección de la obra.

3. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES DE LA OBRA

3.1 MATERIALES DE NATURALEZA PÉTREA

Cumplirán con el artículo 7.3 de la instrucción EH-91, no dejando rebasar su contenido en arcilla el 1% del peso total. Las arcillas que se utilicen para morteros de agarre tendrán un diámetro máximo inferior a 1/3 del espesor del tendel, junta o llaga en la que haya de ser empleado.

Cuando estos morteros de agarre no sean bastardos se admitirá, y solo en este caso, que las arenas puedan contener mayor porcentaje de arcillas, pero sin que sobrepasen el 15% del peso total de la muestra.

La arena empleada será limpia, suelta, áspera, crujiente al tacto, silícea, procedente de rambla o de piedra machacada y exenta de sustancias orgánicas o partículas térreas. En caso de no reunir estas condiciones se lavará y tamizará convenientemente.

Se empleará seca para hacer las dosificaciones correspondientes, y en caso de estar húmeda, se tendrá en cuenta, al usarla, la cantidad de agua que contiene. La arena estará exenta de cualquier sustancia que pueda reaccionar perjudicialmente con los álcalis que contenga el cemento.

Se considerará que ello es así si cumple que:

$Sc < Rc < 70$ o bien que $Sc < (Rc/2) + 35 < 70$

siendo:

Sc: sílice soluble en hidróxido sódico.

Rc: la reducción en alcalinidad de dicho hidróxido.

No se utilizará ningún árido fino que contenga una proporción de materia orgánica, expresada en ácido técnico, superior a 0,05%.

Las pérdidas de arena, sometida a la acción de soluciones de sulfato sódico o magnésico en cinco ciclos, serán inferiores, respectivamente al 10% y al 15% en peso.

3.2 MATERIALES CERÁMICOS

3.2.1.Ladrillos

Cumplirán lo especificado en la norma MV-201/1972, y las calidades, medidas y resistencias mínimas que fija la norma UNE 41004. Los ladrillos silíceo-calcáreos cumplirán la norma UNE 41061.

El contratista presentará muestras, certificaciones de pruebas y cualquier otro detalle solicitado por la dirección de obra.

Los ladrillos serán homogéneos en toda su masa, no desmoronándose por frotamiento entre ellos y no presentarán hendiduras, grietas, oquedades ni defecto alguno de este tipo. Los ladrillos presentarán regularidad absoluta de forma y dimensión, que permita la obtención de tendales de espesor uniforme e igualdad de hiladas. Los ladrillos al ser golpeados por un cuerpo presentarán un sonido metálico y campanil.

No se disgregarán en el agua y no deberán absorber más de un 15% en peso en este líquido una vez transcurridas las 24 horas de inmersión en él. Los ladrillos deberán presentar cargas mínimas de rotura o compresión de 85 Kg/cm².

3.2.2 Bloques cerámicos

De acuerdo con la norma UNE 41001.

3.2.3 Azulejos

Se considerarán como azulejos las piezas poligonales con base cerámica recubiertas de una superficie vidriada, de colorido variado y que sirven para revestir pavimentos.

Los azulejos cumplirán las condiciones exigidas por la Norma UNE 24007 y deberán cumplir las condiciones de calidades y tolerancias exigidas para los azulejos clasificados como de la clase citada en la norma.

Los azulejos que se emplean en las obras serán de primera calidad, careciendo por tanto de pelos, poros u ondulaciones en la superficie vitrificada, que deberá ser perfectamente plana y de colocación uniforme.

Se observará una tolerancia máxima en las dimensiones de la pieza del 1% en menos y del 0% en más.

3.3 MADERA

Cualquiera que sea su procedencia, la madera que se emplee, tanto para construcciones definitivas como provisionales, tales como cimbras, encofrados, andamios, etc. deberá reunir las siguientes condiciones:

- (a) Estará desprovista de vetas o irregularidades; no tendrá indicios de enfermedades que ocasionen la descomposición del sistema leñoso.
- (b) En el momento de su empleo estará seca, especialmente las que se destinen a ejecución de obras definitivas.
- (c) No se podrá emplear madera cortada fuera de la época de la paralización de la savia.

3.4 CONGLOMERANTES

3.4.1 Cemento

Cumplirá las exigencias de la Instrucción para Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón Armado EH.91, artículo 5, empleándose los tipos de cemento que se indican en los anejos de estructuras resistentes. Sus tensiones características no serán inferiores a las exigidas en Proyecto y deberá también atenerse a la vigente *Instrucción sobre normalización y calidad de conglomerantes hidráulicos*.

Los cementos Portland a utilizar en la obra deberán cumplir las condiciones para la recepción de conglomerantes hidráulicos así como las normas aprobadas por Orden Ministerial de 26 de julio de 1960 (B.O.E. de 5 de agosto de 1960).

El cemento se recibirá en los mismos envases de fábrica con sus precintos correspondientes y se almacenará hasta su empleo, en sitio ventilado, defendido de la humedad, tanto del suelo como de las paredes.

Se comprobará, dentro del mes anterior a su empleo, que las distintas partidas de cemento cumplen los requisitos exigidos por el Pliego General de Condiciones para la recepción de conglomerados hidráulicos en las obras de carácter oficial. A tal efecto se autorizará reducir dichas comprobaciones a las pruebas de fraguado, estabilidad al agua caliente y resistencia de mortero normal a los siete días, a que se hace referencia en el citado Pliego.

Las características del cemento Portland a emplear en morteros y hormigones se comprobarán antes de su utilización, mediante la ejecución de las series completas de ensayos que estime pertinentes la Dirección de la Obra.

3.4.2 Yesos y escayolas

Serán de las calidades especificadas en Proyecto y de acuerdo con la norma UNE 41022 y 41023, y cumpliendo los requisitos del Pliego General de Condiciones para la recocción de yesos en obras de construcción de 1966, y su complemento de 1972.

El yeso estará bien cocido, molido y limpio de sustancias extrañas. No contendrá más del 7,5% de graznas y no presentará señales de hidratación. Amasado con un volumen de agua de 1:1, su aumento al fraguar no excederá de una quinta parte. El amasado se hará con cuidado y a medida que se vaya empleando.

El coeficiente de rotura de la papilla de yeso fraguado no será inferior a 80 Kg/cm² a los 28 días. El yeso blanco para enlucido será perfectamente blanco mate. Los yesos se conservarán hasta su empleo en lugar bien seco.

El yeso en buenas condiciones, mezclado con agua, deberá formar una pasta untuosa al tacto, que se pegue a las manos del que lo maneja, fraguando en poco tiempo y adquiriendo rápidamente gran solidez y dureza. El yeso no debe exponerse al sol, a fin de evitar principios de fragmentación. Así mismo, no deberá almacenarse en locales húmedos o cuya humedad relativa en un momento determinado pueda ser muy alta.

3.5 AGUAS

El agua empleada para la elaboración de morteros, hormigones, etc. para el curado de la estructura, para la humectación de materiales absorbentes, y en general, para cualquier labor constructiva, sea del aspecto que sea, tendrá que estar sancionada por la práctica como aceptable, teniendo que cumplir las exigencias del artículo 6 de la instrucción EH-91, y si fuera preciso realizar análisis o ensayos sobre las mismas, estos se harán de acuerdo con las normas UNE 7230 a 7236 y 7178.

Como norma general, podrán utilizarse, tanto para el amasado como para el curado del mortero y los hormigones hidráulicos, todas aquellas aguas que en la práctica hay sancionado como aceptables, es decir, que no hayan producidos florescencias,

agrietamientos o perturbaciones en el fraguado y endurecimiento de hormigones similares.

Son admisibles, sin necesidad de ensayos de comprobación, todas las aguas que por sus características físicas y químicas, son potables.

Las aguas no potables o dudosas serán objeto de análisis, comprobando que cumplen las siguientes condiciones:

- Acidez expresada en pH, comprendida entre 6 y 8.
- Sustancias solubles en cantidad inferior a 35 g/l.
- Contenido en sulfato inferior a tres décimas de g/l.
- Glúcidos, o sea, azúcares o carbohidratos, ni siquiera indicios.
- Grasas o aceites de cualquier clase en cantidad inferior a 15 g/l.

3.6 METALES

3.6.1 Cobre

Se empleará cobre electrolítico con una pureza del 99%. En el cobre duro, la carga de rotura deberá ser superior a 37 Kg/mm² con una conductividad eléctrica mínima del 97% referida al patrón internacional (UNE-20003).

El cobre recocido tendrá una carga de rotura mínima de 20 Kg/mm² y conductividad eléctrica mínima del 98%. Presentará un aspecto y coloración homogéneos y su superficie estará exenta de pliegues, grietas, deformaciones e irregularidades.

Para el cobre estañado se admitirá como máximo un aumento de la resistencia óhmica del 2% sobre la del cobre puro, por efecto del estañado.

3.6.2 Acero

El acero utilizado para la fabricación de tuberías así como del tanque de almacenamiento serán en todo caso de acero al carbono preferiblemente del tipo AISI 1030 (Composición: 0,28-0,34% C, 0,06-0,09% Mn, 0,04% Pmáximo y 0,05% Smáximo).

3.7 VIDRIOS

Los vidrios serán de los tipos definidos en la norma UNE 43015. El cristal y el vidrio empleados deberán resistir perfectamente y sin irisarse la acción del aire, la humedad y el calor solos o conjuntamente, del agua fría o caliente y de los agentes químicos.

No deberán amarillear bajo la acción de la luz solar. Serán homogéneos sin presentar manchas, burbujas, aguas, grietas y otros defectos. Serán perfectamente planos y cortados de limpieza, sin presentar asperezas, cortaduras ni ondulaciones en los bordes y el grueso será uniforme en toda su extensión.

Los cristales serán de calidad superior, fabricados con mezclas finas y esmeradas, serán claros, casi incoloros, más flexibles y menos frágiles que el vidrio.

3.8 AISLANTES ELÉCTRICOS

Tendrán la rigidez dieléctrica adecuada al trabajo que tengan que desarrollar. Serán neutros, no ejerciendo acción nociva sobre los elementos, sean o no conductores, con los que hayan de permanecer en contacto.

En su masa no se tolerará ningún grado de humedad que pueda rebajar su rigidez dieléctrica o dañar su composición química.

Las porcelanas cumplirán las normas UNE-21046 y 21111 debiendo ser blancas, homogéneas y traslúcidas e inatacables por los ácidos.

Los aisladores pasatapas y elementos de aparatos cuya base sea la porcelana estarán cubiertos de un barniz muy duro, blanco o marrón, en el que no deje huella el acero al intentar rayarlo.

3.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS INSTALACIONES

Se ajustarán a la reglamentación vigente, y en caso de ausencia de la misma el Director de Obra podrá fijar en qué condiciones y bajo qué comprobaciones se podrán recibir.

3.9.1 Instalación eléctrica de baja tensión

De acuerdo con el R.E.B.T. y todas las disposiciones vigentes complementarias, así como la obligada observancia de las normas UNE que fija dicho reglamento en su capítulo IX, artículo 44.

Para su comprobación se tendrán en cuenta las prescripciones del reglamento de verificaciones y regularidad en el suministro.

3.9.2 Conductores subterráneos y para canalización en bandeja

Los conductores estarán constituidos por hilos de cobre con aislamiento y cubierta exterior de materiales termoplásticos. La norma de calidad del cobre será UNE 21011.

La rigidez dieléctrica y la resistencia kilométrica del aislamiento cumplirán lo establecido en el R.E.B.T. Los conductores deberán permitir un incremento de potencia del 30% y la caída de tensión máxima será del 3%.

Las mezclas de materiales plásticos utilizados para constituir el aislamiento o cubierta de los cables será de PVC, de tipo VV-0,61/1kV, según normas UNE. Su tensión de prueba será de 4000 V y 1000 V la tensión de servicio.

3.9.3 Conductores para canalización bajo tubo

Los conductores estarán constituidos por hilos de cobre con aislamiento y cubierta exterior de policloruro de vinilo de clase 60°C.

La tensión nominal de servicio será de 750 V, y la prueba de 2500 V; se elegirá un conductor con doble capa de aislamiento de PVC tipo V-750, según las normas UNE.

La rigidez dieléctrica y la resistencia kilométrica del aislamiento cumplirán lo establecido en el R.E.B.T. e instrucciones complementarias.

En cuanto al incremento de potencia y caída de tensión se atenderá a lo indicado en el apartado anterior.

3.9.4 Conductores para subida a puntos de luz y canalizaciones en tubo de acero

Serán del tipo antihumedad y estarán compuestos por el conductor de uno o varios hilos de cobre desnudo, aislado con capa MSH"1" de distinto color para cada fase.

Estos conductores estarán cableados y ocluidos en una masa de relleno, de gran resistencia a la humedad en grado de alta plastificación. La cubierta exterior será gris brillante de polivinilo resistente a grasas, aceite y ácidos.

Serán aptos para una tensión de servicio de hasta 750 V y una tensión de prueba de 2500 V entre fases.

3.9.5 Elementos metálicos

Se protegerán contra la oxidación limpiando sus superficies de óxido o de los materiales adheridos a ellas aplicándoles dos manos de minio de plomo. La protección con lechada de cemento P-350 sólo será admitida en elementos no vistos, aplicando como mínimo un total de cinco manos espaciadas de 48 en 48 horas.

3.9.6 Morteros

De las características dictaminadas por la Dirección de Obra y cumpliendo con el capítulo tres de la citada norma MV-201/1972.

3.9.7 Enfoscados

Todas las obras, y en particular las de fábrica que vayan enterradas, no serán cubiertas por el contratista hasta que haya recibido autorización del Director de Obra.

Los paramentos de las obras de fábrica que tengan que ser guarnecidos o enlucidos con cualquier clase de mortero, no serán cubiertos sin la debida autorización de la Dirección de Obra.

3.9.8 Enlucido yeso blanco

Los enlucidos no se realizarán hasta que esté completamente seco el guarnecido del paramento. Se empleará yeso blanco de primera calidad. El tendido se

hará con la llana, dejando la pasta perfectamente alisada, plana y sin rebabas en los empalmes. Se ejecutarán embebiendo previamente de agua la superficie de la fábrica.

El enlucido deberá hacerse arrojando el mortero sobre la superficie, de modo que quede adherido a ella, para alisar, después efectuar convenientemente el frotado, es decir, presionar con fuerza con la paleta de madera.

Los enlucidos se mantendrán húmedos por medio de riegos muy frecuentes, durante el tiempo necesario para que no sean de temer la formación de grietas por desecación.

Será por cuenta del contratista el rehacer cualquier enlucido que no esté en las debidas condiciones. El Constructor está obligado a levantar y volver a hacer todo el enlucido que presente grietas o que por el sonido al ser golpeado o por cualquier otro indicio que permita apreciar que el paramento de la fábrica está desprendido más o menos parcialmente.

3.9.9 Pavimentos

Se ejecutarán con mortero y revestimiento de resina epoxi y serán lisos y en la zona de proceso dispondrán de una pequeña pendiente hacia un sumidero sifónico central o lateral de manera que se evite la formación de charcos. La unión de los pavimentos con la pared se rematará redondeada para facilitar la limpieza.

3.9.10 Carpintería

La carpintería de taller se efectuará de acuerdo con las disposiciones del Director de la Obra.

La carpintería de ventanas debe ser de aluminio u hormigón armado, con preferencia a otros materiales menos resistentes a la oxidación. Deberá ejecutarse este género de obras con esmero, presentando al Director los modelos más importantes con objeto de que de su aprobación.

3.9.11 Pinturas

Los materiales constitutivos de la pintura serán todos de primera calidad, finamente molidos y el procedimiento de obtención de la misma garantizará la bondad de sus condiciones.

Tendrá la fluidez necesaria para aplicarse con facilidad a la superficie, pero con la suficiente coherencia para que no se separen sus componentes y que puedan formarse capas de espesor uniforme bastante gruesas.

No se extenderá ninguna mano de pintura sin que esté seca la anterior, debiendo transcurrir entre cada mano de pintura el tiempo preciso, según la clase, para que la siguiente se aplique en las debidas condiciones. Cada una de ellas cubrirá a la precedente y serán de un espesor uniforme, sin presentar ampollas desiguales ni aglomeraciones.

El Director de la obra definirá el color de la pintura, así como las manos o capas que deberán darse. La pintura será de color estable sin que los agentes atmosféricos afecten sensiblemente sobre el mismo.

Antes de proceder a la pintura de los materiales, será indispensable haberlos limpiado y rascado convenientemente. Antes de su empleo se llevarán a cabo ensayos de comprobación de las características de las pinturas, indicando los resultados obtenidos respecto a:

- a) Espesor total alcanzado por el sistema de pintado.
- b) Resistencia al envejecimiento acelerado (300 h de exposición).
- c) Resistencia en cámaras de niebla salina (300 h de exposición).
- d) Agrietamiento de la película de pintura.
- e) Formación de ampollas.
- f) Pérdidas de color.
- g) Adherencias.

A la vista de los cuales la Dirección de la Obra aceptará o rechazará la pintura.

3.9.12 Andamios

En todos los andamios se colocarán entretechos de 1 m de altura, a fin de evitar posibles caídas. Los tablonos tendrán por lo menos 20 cm de ancho y 7 cm de espesor.

En la construcción de toda clase de andamios se observarán cuantas reglas estén establecidas en las Ordenanzas específicas para estos trabajos, recayendo en el Contratista la responsabilidad de los accidentes que puedan ocurrir, si se dejan de cumplir las Ordenanzas o faltan las condiciones exigidas al andamio en sí, o a los materiales que lo componen.

3.9.13 Ejecución de los trabajos de cerramientos laterales y de cubierta

Los elementos metálicos para cerramientos de huecos de paso de luz, podrán ejecutarse con perfiles metálicos ordinarios L, T, Y, tubulares, etc. o como laminados o estriados, o con perfiles troquelados o tubulares de chapa metálica, siempre de acuerdo con los detalles de los planos de obra y con las órdenes dictadas, en último caso, por el Director de la obra.

El Contratista deberá presentar si así lo pide el Director, una información que comprenda además de la descripción de los ventanales o puertas a emplear, los siguientes extremos:

- Un modelo a tamaño natural con los perfiles señalados en los planos, o haciéndose constar en caso contrario las circunstancias que determinen la propuesta de cambio de perfil, perfiles que siempre serán los adecuados y exigidos por las luces del hueco y adaptados a la función que cada perfil desempeña en cada elemento, sea puerta o ventana.
- Una descripción de los perfiles, herrajes de colgar y seguridad, retenedores, etc. y en particular los herrajes especiales como bisagra de fricción destinada a impedir los cierres violentos de los elementos.

- Un metro lineal de los junquillos con los tornillos correspondientes que vayan a ser empleados en la colocación o sujeción de vidrios o cristales.
- Secciones horizontales y verticales del elemento de que se trate a tamaño natural y perfectamente acotados.
- Peso del modelo descompuestos, cerco o bastidor, elementos móviles o herrajes.
- Condiciones especiales de la construcción del elemento a emplear.
- Cualquiera que sea el tipo de puerta o ventana a emplear, deberá estar dispuesto de tal forma que sea absolutamente estanco, impidiendo la penetración de aire o agua.
- Para la valoración de las obras de cerramientos con carpintería metálica se determinará la superficie que arroja la medición de cada clase de obra sin desarrollar sus molduras, aplicándole el precio correspondiente a cada tipo de obra.
- Se medirán por las luces de los mismos, incluyendo los cercos correspondientes, es decir, midiendo las luces exteriores del cerco sin contar los sobrantes de longitud de larguero no cogotes.

3.9.14 Instalación de cerrajería

El contratista deberá presentar varias muestras de cada tipo de herrajes y cerraduras que piense emplear, con objeto de que el Director de Obra elija, y de los elegidos entregará dos muestras.

Cualquier clase de herrajes que hayan de fijarse sobre la carpintería deberá quedar perfectamente ajustados en las cajas abiertas en ellas, bien se trate de cercos o de

elementos móviles. Asimismo se procurará debilitar lo menos posible con las citadas a los elementos sobre los que se efectúen.

Deberá poderse sustituir con facilidad cualquier clase de herraje y su funcionamiento será perfecto en todo caso. Será sustituido por el Contratista aquel en esto no ocurra.

Las cerraduras a emplear serán del tipo y clase que ordene en cada caso el Director de la obra y dentro de las escalas corrientes de cerraduras de fabricación superior.

3.9.15 Instalación de fontanería y saneamiento

Para las conducciones de agua potable se deberá utilizar tubería y accesorios de acero galvanizado y roscado de primera calidad. Para la descarga de los aparatos sanitarios, se utilizará tubería de plomo y para la conducción de aguas residuales hasta las arquetas correspondientes, tubería de fundición de hierro con acoplamientos de enchufe y cordón.

El Contratista deberá presentar al Director de Obra certificaciones de prueba de origen para los diferentes materiales usados, que en cualquier caso deberán cumplir las condiciones siguientes:

- Tubería de acero: deberá ser de acero recocido con rosca cilíndrica y piezas especiales de fundición maleable. Todos ellos deben estar galvanizados tanto interior como exteriormente. Deben ser estancos a una presión mínima de 10 atm. Su sección circular tendrá un espesor uniforme y en los cortes no presentará rebaba alguna.
- Tubería de plomo: la de diámetro superior a 300 mm será fabricada por arrollamiento y soldadura, y el diámetro inferior por laminación y prensado.

- Las uniones de los tubos de plomo se ejecutarán por soldadura y el diámetro inferior con el tipo blando o de hojalatero, compuesto por partes iguales de estaño y plomo.
- La presión hidrostática mínima que deberán soportar las tuberías de plomo a emplear será de 4 atm.
- El Contratista deberá presentar muestras de toda la tubería y accesorios que vayan a ser utilizados en las instalaciones.

3.9.16 Instalación

La instalación de agua será completa, con todo el sistema empotrado, empleando tuberías de diámetro y clase apropiadas, así como las llaves de paso, válvulas y demás elementos que se precisen.

Las llaves se instalarán en los lugares indicados por la Dirección y se colocarán de tal forma que permita en todo momento su fácil manejo y reparación, así como la revisión de sus empaquetaduras.

La Dirección podrá exigir que el Contratista realice el replanteo de cada ramal de tubería y perfil longitudinal del replanteo, entregándolo al Director para su aprobación o reparos, sin cuyo requisito no podrán dar comienzo los trabajos.

Todas las tuberías se montarán centrándose perfectamente de modo que sus ejes vengán en prolongación y en los cambios de dirección, los tramos rectos serán tangentes a las curvas, sin acusar desviaciones.

Las tuberías sean verticales u horizontales que se fijen con bridas a las paredes, juntas, forjados, etc. tendrán sus bridas perfectamente alineadas y corregidas de modo que el tubo sentado en ellas quede en las condiciones requeridas de alineación, no tolerándose el empleo de suplementos en las abrazaderas, debiendo estar las tuercas bien apretadas.

Las tuberías de drenaje que discurran bajo el pavimento en el interior del edificio, deben ser colocadas en una zanja de las siguientes características:

- La zanja tendrá una anchura igual al diámetro de la tubería más 30 cm.
- La tubería se coloca centrada de manera que queden 15 cm entre la tubería y las paredes de la zanja.
- La tubería deberá de quedar embebida en el hormigón, de manera que la diferencia de cotas entre la superficie libre de hormigón y la cara inferior de la tubería sea igual a la tercera parte del diámetro del tubo.
- El hormigón que se utilice en la colocación de las tuberías deberá tener una resistencia característica de 50 Kg/cm².
- El paso de una tubería a través de elementos de fábrica se resuelve con un sellado de masilla asfáltica o silicona.
- Los tramos horizontales de las tuberías se disponen con una pendiente mínima del 2,5% y máxima del 10%.
- Se sujetan mediante ganchos dispuestos cada 70 cm.
- Para las conducciones verticales de aguas pluviales se utilizarán tubos y piezas especiales de amianto de cemento y PVC. Las primeras se utilizarán en exteriores y las de PVC en interiores. La sujeción de las bajantes a los muros o columnas se hace mediante abrazaderas, con un mínimo de dos por cada tramo de tubería bajo la copa, y luego a intervalos no superiores a 150 cm.
- Los pasos de bajantes a través del forjado se protegen con una capa de papel de 2 mm de espesor.

- Las uniones se sellan con caucho y masilla asfáltica para los tubos de amianto-cemento y pegados con colas impermeables de gran adherencia en caso de tubos de PVC.
- El colector enterrado debe ir siempre situado debajo de la red de distribución de agua con el fin de que no se pueda contaminar ésta. Se le dará una pendiente no menor del 1,5%.
- Las arquetas se construirán sobre una solera de hormigón en masa y con una tapa practicable de hormigón armado. Las paredes se formarán con ladrillo macizo y juntas de mortero. Todos los paramentos interiores deben ir enfoscados y bruñidos.

3.9.17 Pruebas hidrostáticas

Toda la instalación de la tubería a presión deberá ser probada a una presión de 5 atm antes de proceder a enterrarla o dejarla inaccesible de cualquier otra forma. Si por cualquier razón fuese necesario dejar inaccesible una parte del sistema antes de completar la inaccesibilidad del mismo podrá realizarse la prueba parcial del mismo independientemente.

El sistema de saneamiento deberá ser probado a una presión estática de 1 metro de altura medido en el punto más alto. En todas las instalaciones de agua y saneamiento deberán cumplirse estrictamente las Ordenanzas de Seguridad e Higiene.

3.9.18 Instalación de alumbrado normal y de emergencia

Todos los materiales empleados, aun los no relacionados en este pliego, deberán ser de primera calidad.

Una vez ejecutada la obra definitivamente y antes de iniciar la instalación eléctrica, el Contratista presentará al Director de la obra los catálogos, cartas, muestras, etc. de los materiales eléctricos a emplear. No podrán ser usados materiales sin que previamente sean aceptados por la Dirección.

Este control previo el material no constituye su recepción definitiva, pudiendo ser rechazados aún después de colocados si no cumplieren con las condiciones exigidas y con la calidad deseada.

Se realizarán cuantos análisis y pruebas ordene la Dirección facultativa, aunque éstas no estén indicadas en este pliego, las cuales se llevarán a cabo en los laboratorios que indique la Dirección, siendo los gastos que ello ocasione por cuenta del Contratista

4. PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES DE LOS EQUIPOS

Los equipos utilizados en la fabricación del sistema de depuración de aire deberán reunir las características y estar contruidos en los materiales que se refieren a continuación. Se han elaborado fichas técnicas para cada uno de los equipos en las que se encuentran todos los requisitos que deben de cumplir, así como todas sus características y especificaciones.

4.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO

FICHA TÉCNICA
EQUIPO: Tanque de Almacenamiento de Serrín
UNIDADES: 1
SERVICIO: Almacenamiento
DESCRIPCIÓN: Tanque vertical cilíndrico.
CARACTERÍSTICAS: <ul style="list-style-type: none">• Material: Acero al carbono AISI 1030• Vertical, cilíndrico, cerrado.• Fondo toriférico y cabeza plana.• Altura: 3 m• Diámetro interior: 13,20 m• Capacidad: 24,10 m³• Espesor de virolas: 15 mm• Soldadura tipo SMAW• Patas de soporte: 6 perfiles IPN• Accesorios:<ul style="list-style-type: none">- Cuatro bridas: dos de rebosaderos, una de descarga y una alimentación.- Boca de hombre de hombre de 500 mm de diámetro interior.

4.2 VENTILADOR

FICHA TÉCNICA
EQUIPO: Ventilador centrífugo de media presión
UNIDADES: 1
SERVICIO: extracción del aire en el sistema de depuración
DESCRIPCIÓN: Ventiladores con chapa de acero galvanizado soldado eléctricamente para reforzar y proteger la envolvente. Estructura cúbica de gran rigidez. Esta construcción protege la envolvente del esfuerzo de las correas. Rodamientos de puente rígido soportados en la estructura reforzada. Motor antiexplosivo y antideflagrantes.
CARACTERÍSTICAS: <ul style="list-style-type: none"> • Motores: 1450 rev/min • Potencia de motores: 7,5 kW • Peso: 147 Kg • Caudal suministrado: 11000 m³/h • Temperatura máxima: 250 °C • Nivel Sonoro es < 80 dB

4.3 TUBERIAS

FICHA TÉCNICA
EQUIPO: Tuberías de acero al carbono
SERVICIO: transporte de gas en el interior de la planta
DESCRIPCIÓN: Tubos de acero sin soldadura para conducciones
CARACTERÍSTICAS: <ul style="list-style-type: none"> - Fabricados en acero al carbono - Varios diámetros - Cumplen las normas ANSI B 36.10-1965 y BS 1600. Parte 2: 1970.

4.4 CAMPANA

FICHA TÉCNICA
EQUIPO: campana
UNIDADES: 1
SERVICIO: captar el aire contaminado
DESCRIPCIÓN: campana extractora de acero al carbono
CARACTERÍSTICAS: <ul style="list-style-type: none">- Fabricada en acero al carbono AISI 1030- Ancho: 0,80 m- largo: 1,15 m- alto: 0,45 m- caudal de aspiración: 2m³/s- diámetro del conducto de la campana: 0,356 m

4.5 CICLÓN

FICHA TÉCNICA	
EQUIPO:	ciclón separador
UNIDADES:	1
SERVICIO:	separar la materia particulada del aire
DESCRIPCIÓN:	recolector mecánico que utiliza la inercia para remover las partículas de la corriente de gas. Construcción estándar en chapa de acero laminada en caliente y con tratamiento superficial basado en dos manos de antioxido universal tanto en superficie exterior como en su interior
CARACTERÍSTICAS:	<ul style="list-style-type: none"> - La boca de entrada al ciclón: altura de 0,509 m y anchura de 0,2545 m. - Diámetro: 1,018 m - restantes dimensiones del ciclón: <ul style="list-style-type: none"> $D_e = 0,509 \text{ m}$ $L = 2,036 \text{ m}$ $S_c = 0,127 \text{ m}$ $J_c = 0,2545 \text{ m}$ $S = 0,636 \text{ m}$ - eficacia: 80 % para partículas de 9,76 μm de diámetro - potencia: 1,71 kW

INDICE DE PRESUPUESTO

	Página
1. COSTES DE EQUIPOS	
1.1. Tanque.....	345
1.2. Ventilador.....	346
1.3. Ciclón	346
1.4. Campana.....	347
1.5. Tabuladura.....	348
1.6. Accesorios.....	348
1.7. Coste total de los equipos.....	349
2. ESTIMACIÓN DEL CAPITAL	
2.1. Costes directos	350
2.2. Costes Indirecto	351
2.3. Coste total del sistema.....	351

1. COSTES DE EQUIPOS

1.1 TANQUE

El precio del tanque de almacenamiento se calcula basándose en su peso, función del volumen y de la densidad del material. Dicho coste es la suma del coste del material (55%) y del coste de fabricación (45%).

La fórmula a emplear es la siguiente:

$$C = 49 \cdot [P(Kg)]^{0,62} \cdot f \cdot \frac{IMS_{2004}}{IMS_{1991}} \cdot c$$

siendo:

- C: coste del tanque en €
- P: peso del tanque en Kg
- *f*: factor del material para el acero al carbono es 1, para el acero inoxidable tiene un valor de 2,5 ó 1,3 según se esté calculando el coste de material o de mano de obra.
- IMS_{2004} : factor de Marchall y Swift en el año 2004 con valor de 1161
- IMS_{1991} : factor de Marchall y Swift en el año 1991 con valor de 904
- *c*: conversión de \$ a € del día 18/05/04: 1€= 1,2119\$

Total del importe del tanque: **14762,3968 €**

1.2 VENTILADOR

El precio del ventilador ha sido obtenido de un catálogo de tarifas de precios de la empresa Sodeca.

El total del importe del ventilador es de **1101,66 €**

El precio de cada una de las bridas de acoplamiento doble es de 81,14€ por lo que la inversión en las bridas es de **162, 28 €**

1.3 CICLÓN

El cálculo del coste en un ciclón convencional, con una eficacia del 80% y una velocidad de flujo volumétrico de la corriente contaminada a tratar entre 0,5 y 12 m³ /s se puede obtener mediante la siguiente formula:

$$\text{Coste}_{\text{CICLÓN}} = 2 \cdot 10^6 \cdot D_c^{0,3} \text{ pts}$$

$$\text{Coste}_{\text{CICLÓN}} = 2 \cdot 10^6 \cdot 1,018^{0,3} = 2010732,646 \text{ pts}$$

La cantidad obtenida en pesetas, se convierte a euros, obteniéndose:

$$\text{Coste del ciclón} = 12084,75 \text{ euros}$$

Otro método para determinar el coste de capital de un ciclón es utilizando una hoja de cálculo de la EPA para la estimación de costos, en base a la velocidad de flujo volumétrico de la corriente contaminada a tratar. Según los cálculos realizados por la EPA, con el fin de calcular la eficiencia de costes, para un ciclón con un flujo entre 0,5 y 12 m³/s, una carga de materia particulada a la entrada entre 2,3 y 230 g/m³, y una eficiencia de control del 80 %, el coste de capital esta entre 4200 y 5100\$ por m³/s. Para adaptar estos datos al coste de nuestro ciclón, se ha tomado el valor medio, resultando este de 4650\$. El caudal del ciclón es de 2,88 m³/s por lo tanto el coste de capital será:

$$2,88 \cdot 4650 = 13392\$$$

este valor convertido a euros es de 11050,41 €

Se toma el precio mayor para el coste del ciclón por lo que este será de **12084,75 euros**

1.4 CAMPANA

Para el cálculo del precio de la campana se ha tomado como referencia el Manual de Costos de Control de Contaminación de Aire, de la EPA - Sexta Edición.

En este manual se encuentra una formula para estimar el coste de una campana en función del área de entrada o de la cara de la campana:

$$C_h = a A_f^b$$

Donde:

- C_h es el coste de la campana en \$
- A_f es el área de la campana
- a y b son parámetros de la ecuación de regresión que varían de acuerdo al tipo de campana y al material de construcción.

$$C_h = 688 \cdot 0,92^{0,687} = 649,69\$$$

El coste de la campana en euros es de **536,09 €**

1.5 TUBULADURA

DESCRIPCION	MEDICION (m)	PRECIO (€/M)	IMPORTE (€)
Acero al carbono DN 200 mm	32	50,34	1610,88
Acero al carbono DN 125 mm	2,5	33,34	83,35
Acero al carbono DN 150 mm	2,5	40,01	100,01
Acero al carbono DN 250 mm	3	60,68	200,04
Acero al carbono DN 400 mm	2,5	100,69	251,72
Acero al carbono DN 350 mm	5,35	90,35	483,37

TOTAL = 2729,29 €

1.6 ACCESORIOS.

DESCRIPCION	NÚMERO	PRECIO (€)	IMPORTE (€)
Conexión T simple 90° DN 200 mm	4	20,01	80,04
Codo 90° DN 200 mm	4	21,22	84,88
Codo 45° DN 200 mm	4	17,07	68,28
Codo 90° DN 350 mm	1	48,75	48,75
Conexión T simple 90° DN 350 mm	1	44,56	44,56

TOTAL = 326,51

1.7 COSTE TOTAL DE LOS EQUIPOS

El coste total de los equipos es la suma del precio de todos los equipos, impuestos y transportes. Estos valores pueden variar, pero los valores típicos dados por la EPA son 3% para impuestos y 5% para transporte.

Coste Total de Equipos = 28484,89 (€) + 0,03 (28484,89) (€) + 0,05 (28484,89) (€)

Coste Total de Equipos = **30763,68 €**

2. ESTIMACION DEL CAPITAL

2.1 COSTES DIRECTOS (CD)

Los costes directos son calculados en función del coste total de equipos incluyen los costos de la cimentación, estructuras, levantamiento y manejo del equipo, trabajo eléctrico, tuberías y pintura.

Coste de equipo (€)	CE	30763,68
Coste (instalación) (€)	0,13 x CE	3999,27
Coste de tuberías (instalación) (€)	0,33 x CE	10152,01
Coste de instalación eléctrica (€)	0,09 x CE	2768,73
Coste de edificios y servicios (€)	0,40 x CE	12305,47
COSTES DIRECTOS (CD) (€)		59989,16

2.2 COSTES INDIRECTOS (CI)

Los costos indirectos de instalación, incluyen costes tales como los de ingeniería y construcción; honorarios de los contratistas (de las firmas de ingeniería y de construcción involucradas en el proyecto); costos de las pruebas de funcionamiento y arranque (para el arranque del sistema de control y verificar que cumpla con la garantía de funcionamiento); e imprevistos. La de imprevistos es una categoría en la que caen todos los costes no previstos que pudieran surgir, incluyendo (pero no limitado a) “...posibles re-diseño y modificaciones de equipo, aumentos en los costos del equipo por escalamiento, incrementos en los costos de mano de obra de campo y retrasos que pueda haber durante el arranque....”

Coste de ingeniería (€)	0,25 x CD	14997,29
Construcción (€)	0,35 x CD	20996,21
COSTES INDIRECTOS (CI)		35993,49

2.3 COSTE TOTAL DEL SISTEMA

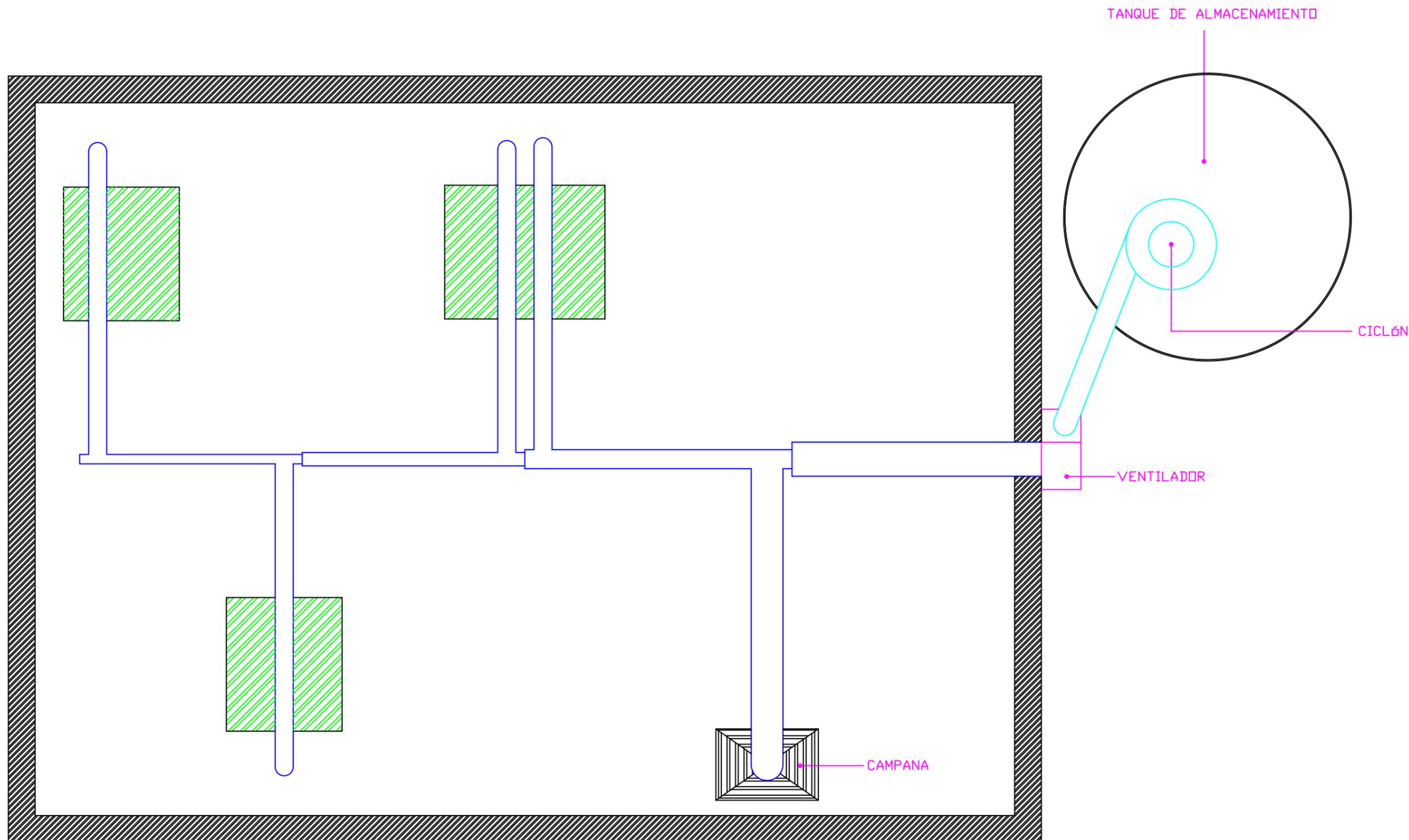
Coste directos (€)	CD	59989,16
Coste indirectos (€)	CI	35993,49
Costes de contingencia (€)	0,1 x (CD+CI)	9598,26
Ajustes finales (€)		1419,09
CAPITAL TOTAL A INVERTIR (€)		107000,00

El capital total a invertir para la ejecución material del proyecto “Dimensionamiento de un sistema de depuración de aire para eliminar la materia particulada producida en un aserradero” es de **CIENTO SIETE MIL EUROS (107000,00 €)**.

Fdo: Dolores Fierro González
Cádiz, 15 de Mayo de 2004

DOCUMENTO N° 2: PLANOS

- ◆ **Plano n° 1: Distribución en planta**
- ◆ **Plano n° 2: Diagrama de flujo**
- ◆ **Plano n° 3: Campana**
- ◆ **Plano n° 4: Ciclón**
- ◆ **Plano n° 5: Tanque de Almacenamiento**



"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN DE AIRE PARA ELIMINAR LA MATERIA PARTICULADA PRODUCIDA EN UN ASERRADERO"

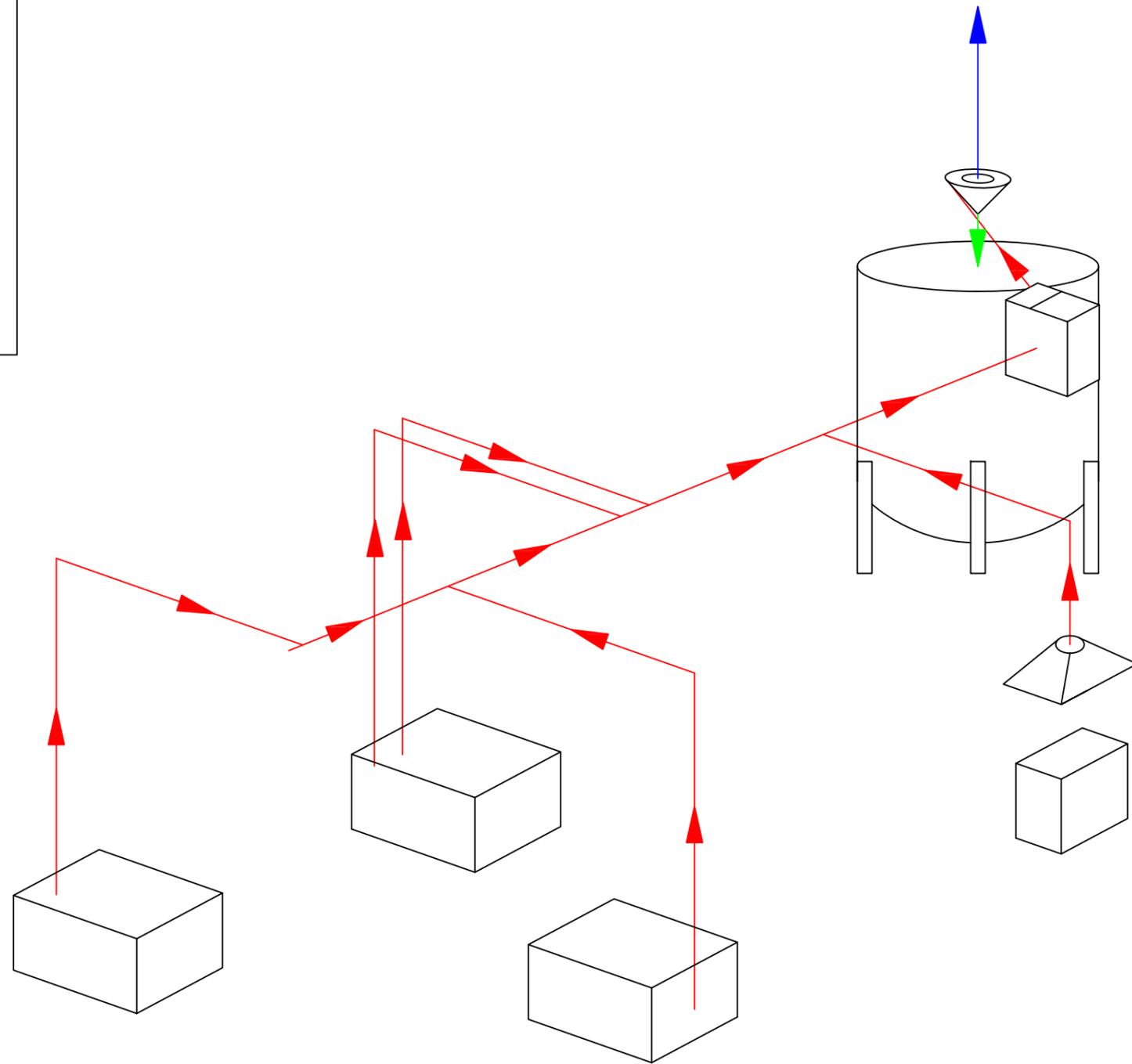
Firma:	Plano:	DISTRIBUCIÓN EN PLANTA		Dibujo:	AutoCAD
	Propietario:	DOLORES FIERRO GONZÁLEZ		Plano n :	1 / 5
	Comprobado:	DOLORES FIERRO GONZÁLEZ		Fecha:	14 de Mayo del 2004
				Escala:	1:50

LEYENDA

→ aire con partículas

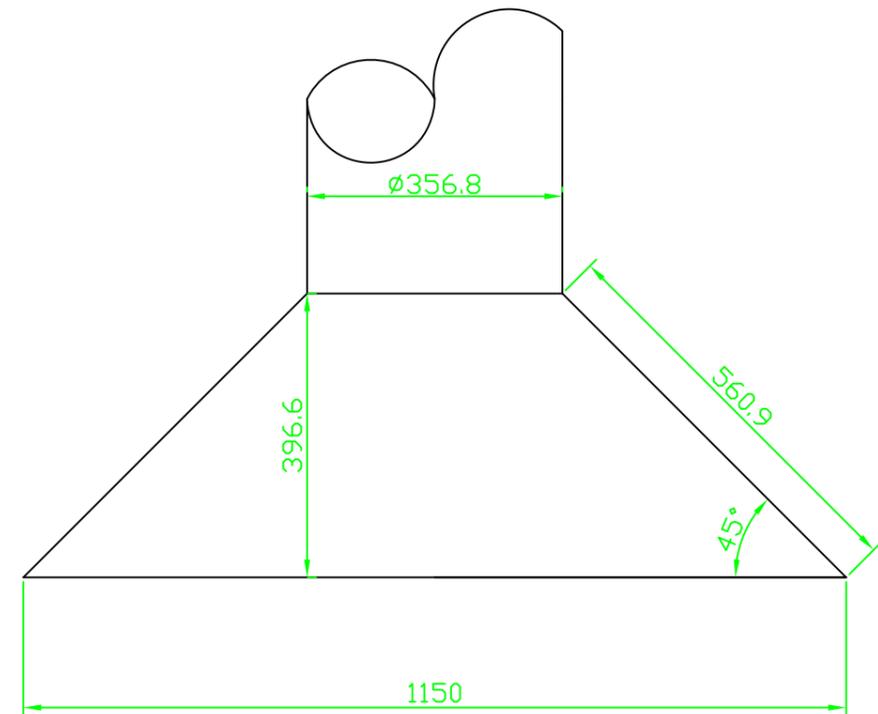
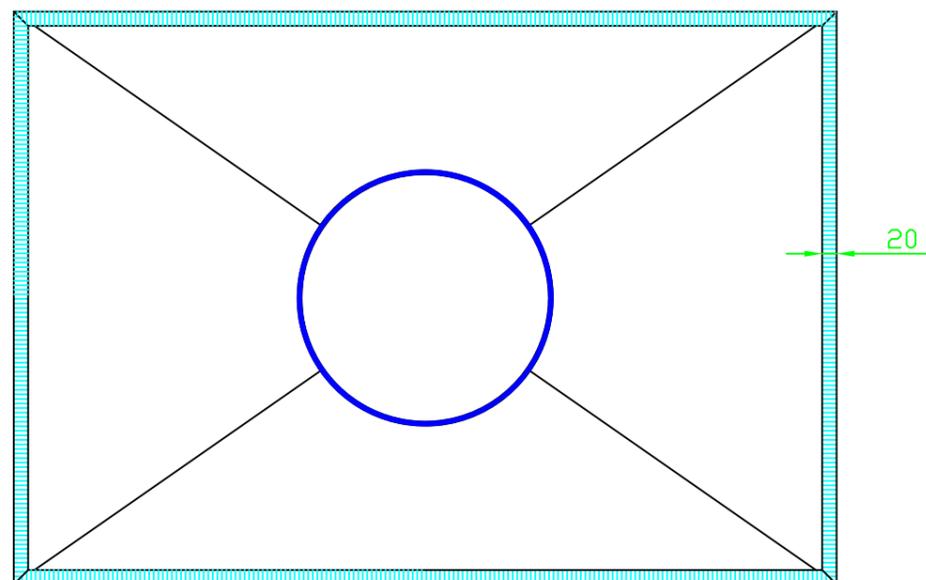
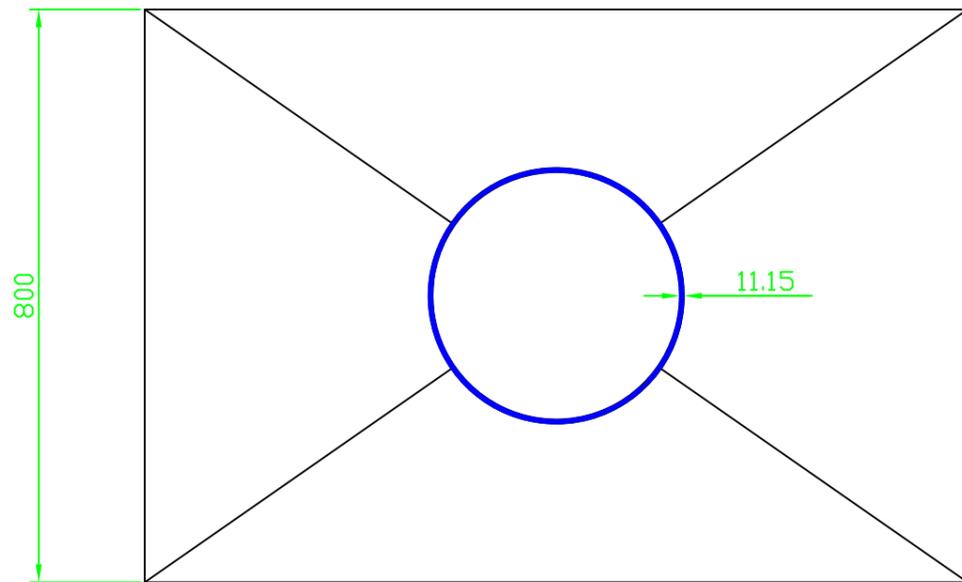
→ aire limpio

→ partículas



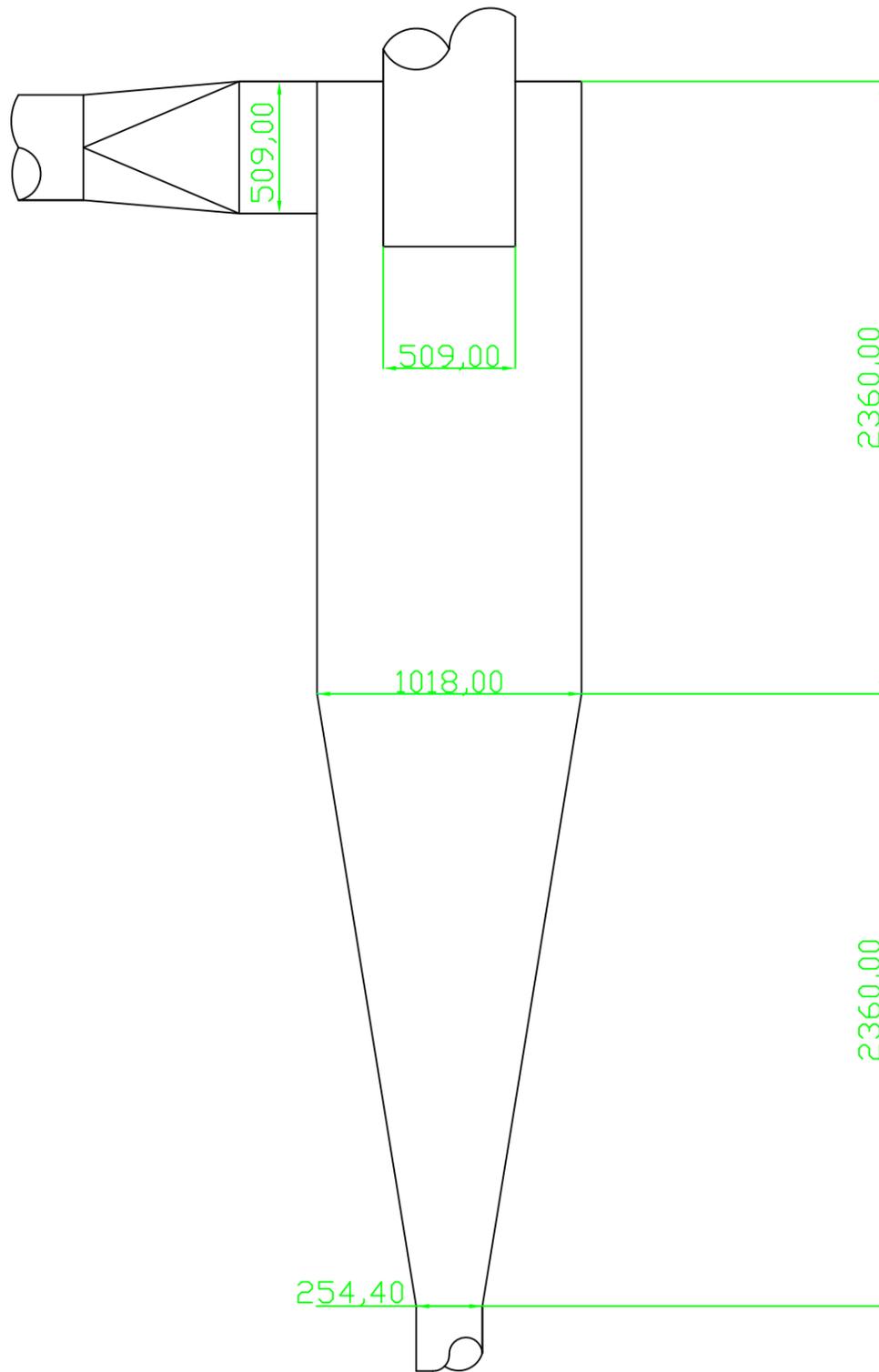
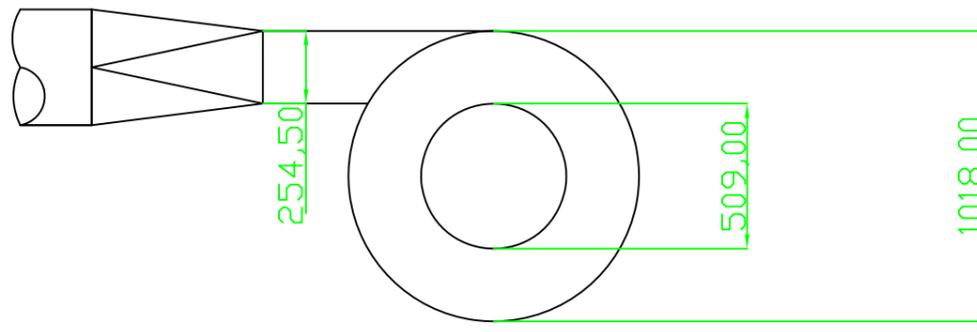
"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DEPURACION DE AIRE PARA ELIMINAR LA MATERIA PARTICULADA EN UN ASERRADERO"

FIRMA:	Plano: DIAGRAMA DE FLUJOS	Dibujo: AutoCAD	
	Propietario: DOLORES FIERRO GONZALEZ	Plano n : 2 / 5	Fecha: 14 de Mayo del 2004
	Propietario: DOLORES FIERRO GONZALEZ	Escala : 1 : 75	



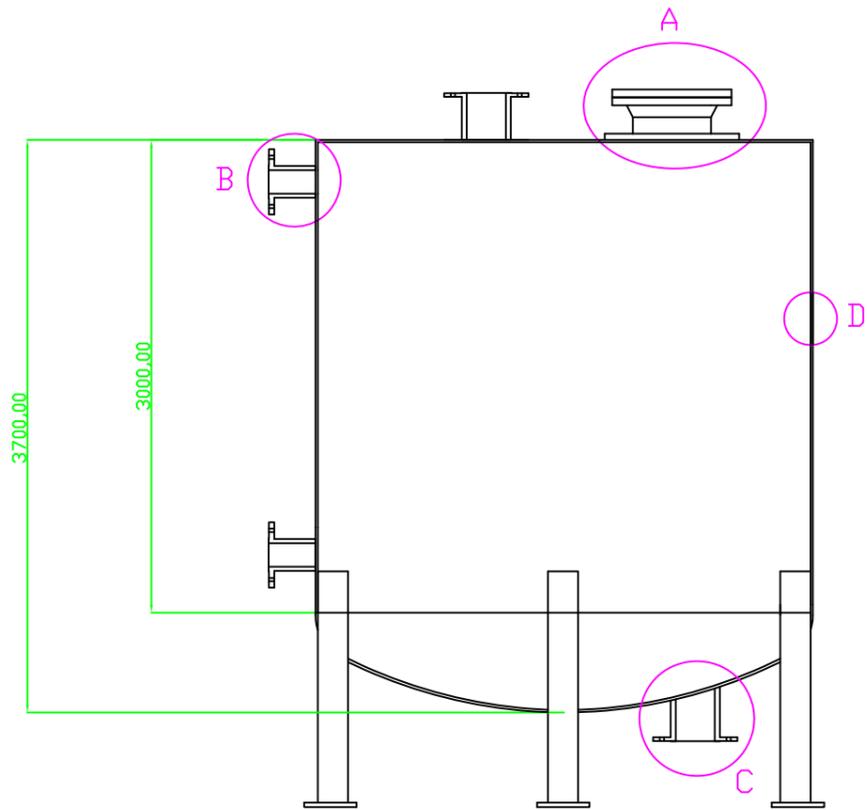
"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DEPURACION DE AIRE PARA ELIMINAR LA MATERIA PARTICULADA PRODUCIDA EN UN ASERRADERO"

Firma:	Plano:	DIBUJO	
	CAMPANA EXTRACTORA		AutoCAD
	Propietario:	Plano n :	Fecha:
	DOLORES FIERRO GONZALEZ	3 / 5	14 de Mayo del 2004
Comprobado:	Escala:		1 : 10
DOLORES FIERRO GONZALEZ			

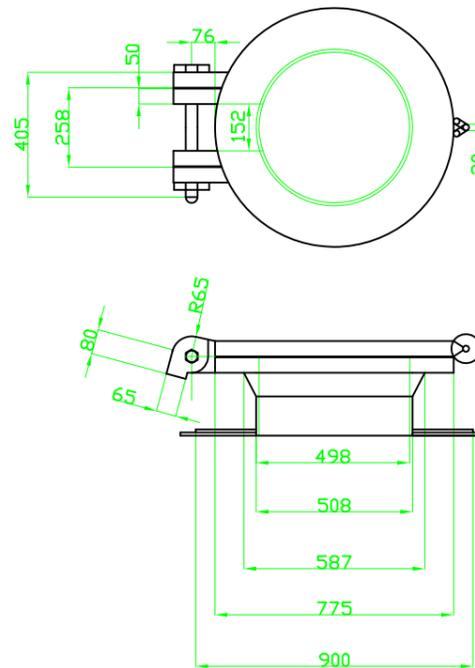


"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DEPURACION DE AIRE PARA ELIMINAR LA MATERIA PARTICULADA PRODUCIDA EN UN ASERRADERO"

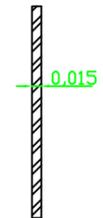
Firma:	Plano:	CICLÓN		Dibujo:	AutoCAD		
	Propietario:	DOLORES FIERRO GONZALEZ		Plano n :	4 / 5	Fecha:	14 de Mayo del 2004
	Comprobado:	DOLORES FIERRO GONZALEZ		Escala:	1 : 25		



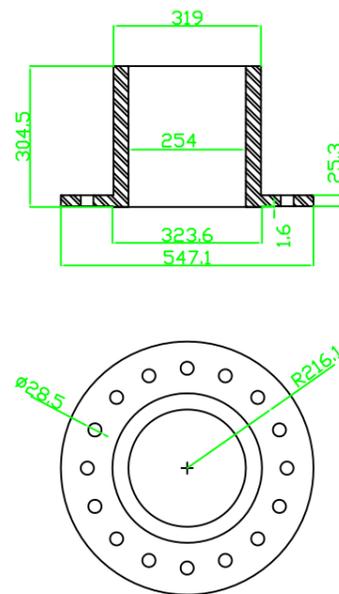
Detalle A
Boca de Hombre
Escala 1:8



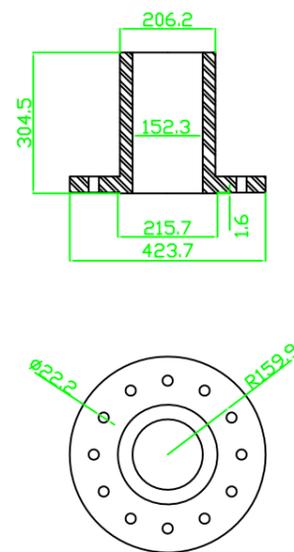
Detalle D
Espesor de la pared
y fondo del tanque
Escala 1:4



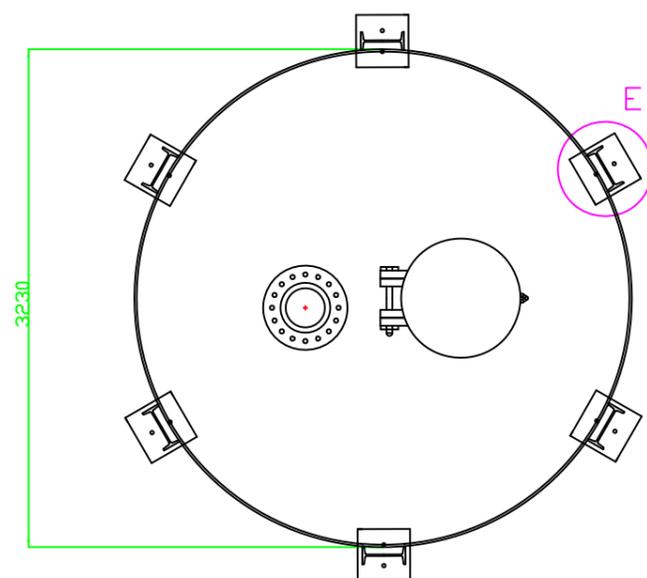
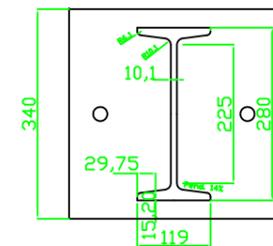
Detalle C
Brida DN 250mm
Escala 1:4



Detalle B
Brida DN 150mm
Escala 1:4



Detalle E
Pata IPN
Escala 1:4



"DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN DE AIRE PARA ELIMINAR LA MATERIA PARTICULADA PRODUCIDA EN UN ASERRADERO"

Firma:	Plano: TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Dibujo: AutoCAD
Propietario: DOLORES FIERRO GONZÁLEZ	Plano n : 5 / 5	Fecha: 14 de Mayo del 2004
Comprobado: DOLORES FIERRO GONZÁLEZ	Escala : 1 : 33	

